

## 平成 28 年熊本地震による土砂災害

## Sediment-related disasters induced by the Kumamoto Earthquake in April 2016

石川 芳 治* <sup>1</sup>	久保田 哲也* <sup>2</sup>	青 戸 一 峰* <sup>3</sup>	飯 島 康 夫* <sup>4</sup>	井 川 寿 之* <sup>4</sup>
Yoshiharu ISHIKAWA	Tetsuya KUBOTA	Kazutaka AOTO	Yasuo IJIMA	Toshiyuki IKAWA
池 上 忠* <sup>5</sup>	池 田 誠* <sup>4</sup>	植 弘 隆* <sup>6</sup>	上 原 祐 治* <sup>5</sup>	内 村 雄 一* <sup>5</sup>
Tadashi IKEGAMI	Makoto IKEDA	Hiroataka UE	Yuuji UEHARA	Yuichi UCHIMURA
江 川 佳 苗* <sup>3</sup>	大 石 博 之* <sup>7</sup>	岡 野 和 行* <sup>8</sup>	海 堀 正 博* <sup>9</sup>	桂 真 也* <sup>10</sup>
Kanae EGAWA	Hiroyuki OHISHI	Kazuyuki OKANO	Masahiro KAIBORI	Shinya KATSURA
加 藤 誠 章* <sup>11</sup>	川 原 慎 一 郎* <sup>12</sup>	古 賀 省 三* <sup>12</sup>	坂 島 俊 彦* <sup>13</sup>	相 楽 渉* <sup>11</sup>
Nobuaki KATO	Shinichiro KAWAHARA	Syozo KOGA	Toshihiko SAKASHIMA	Wataru SAGARA
地 頭 蘭 隆* <sup>14</sup>	篠 原 慶 規* <sup>2</sup>	清 水 収* <sup>15</sup>	下 田 義 文* <sup>4</sup>	鈴 木 滋* <sup>12</sup>
Takashi JITOUSONO	Yoshinori SHINOHARA	Osamu SHIMIZU	Yoshifumi SHIMODA	Shigeru SUZUKI
鈴 木 正 美* <sup>4</sup>	瀬 戸 康 平* <sup>3</sup>	田 方 智* <sup>12</sup>	寺 田 秀 樹* <sup>16</sup>	寺 本 行 芳* <sup>14</sup>
Masami SUZUKI	Kohei SETO	Satoshi TAGATA	Hideki TERADA	Yukiyoshi TERAMOTO
堂ノ脇将光* <sup>13</sup>	飛 岡 啓 之* <sup>13</sup>	鳥 田 英 司* <sup>3</sup>	中 濃 耕 司* <sup>17</sup>	西 川 友 章* <sup>3</sup>
Masamitsu DOUNOWAKI	Satoshi TOBIOKA	Eiji TORITA	Koji NAKANO	Tomoaki NISHIKAWA
花 田 良 太* <sup>13</sup>	平 川 泰 之* <sup>8</sup>	福 塚 康 三 郎* <sup>4</sup>	藤 澤 康 弘* <sup>11</sup>	藤 田 正 治* <sup>18</sup>
Ryouta HANADA	Yasuyuki HIRAKAWA	Kozaburo FUKUZUKA	Yasuhiro FUJISAWA	Masaharu FUJITA
正 木 光 一* <sup>5</sup>	宮 田 直 樹* <sup>3</sup>	山 口 和 也* <sup>8</sup>	山 下 伸 太 郎* <sup>19</sup>	山 根 誠* <sup>5</sup>
Kouichi MASAKI	Naoki MIYATA	Kazuya YAMAGUCHI	Shintaro YAMASHITA	Makoto YAMANE
横 尾 公 博* <sup>4</sup>				
Kimihiko YOKOO				

## Abstract

The landslides on April 16<sup>th</sup> 2016 in Kumamoto prefecture, especially in the Aso volcanic range, with intense earthquake of M 7.3 (maximum acceleration=1,791 gal) yielded countless instances of landslide and debris flow that induced tremendous damages and casualties in the area. Hence, field investigation and reconnaissance were conducted by the Japan Society of Erosion Control Engineering to delve into this sediment-related disasters. The various results and the information containing phenomena of slope movements, obtained through this investigation were reported as the primary report, mentioning damage, geologic-geomorphologic features and geo-technical characteristics of the landslides, vegetation effects on the slope instability phenomena, possibility of occurrence of secondary disasters, urgent measures for mitigating secondary disasters, and the efficiency of Sabo facilities in this disaster.

**Key words :** 2016 Kumamoto Earthquake, landslide, debris flow, sediment-related disaster, secondary disaster

## 1. はじめに

熊本県熊本地方を震源として平成 28 年 4 月 14 日に M=6.5 の前震, 16 日に M=7.3 の本震が発生し, それぞれ最大震度 7 に達する強い地震動が発生し多数の家屋

に甚大な被害が発生した。さらに, これらの地震により, 震源に近い阿蘇火山地域およびその周辺では, 山地や丘陵地において斜面崩壊, 地すべり, 土石流が多数発生し, 人命や人家・施設に大きな被害を発生させた。本震後も長い間強い余震が繰り返し発生したために被害の拡大が

\*1 東京農工大学 Member, Tokyo University of Agriculture and Technology \*2 九州大学 Member, Kyushu University \*3 国際航業 (株) Member, Kokusai Kogyo Co., Ltd. \*4 八千代エンジニアリング (株) Member, Yachiyo Engineering Co., Ltd. \*5 応用地質 (株) Member, Oyo Co., Ltd. \*6 砂防エンジニアリング (株) Member, Sabo Engineering Co., Ltd. \*7 西日本技術開発 (株) Member, West Japan Engineering Consultants, Inc. \*8 アジア航測 (株) Member, Asia Air Survey Co., Ltd. \*9 広島大学 Member, Hiroshima University \*10 北海道大学 Member, Hokkaido University \*11 (一財)砂防・地すべり技術センター Member, Sabo and Landslide Technical Center \*12 日本工営 (株) Member, Nippon Koei Co., Ltd. \*13 パシフィックコンサルタンツ (株) Member, Pacific Consultants Co., Ltd. \*14 鹿児島大学 Member, Kagoshima University (saboj@agri.kagoshima-u.ac.jp) \*15 宮崎大学 Member, University of Miyazaki \*16 国土防災技術 (株) Member, Japan Conservation Engineers & Co., Ltd. \*17 東亜コンサルタント (株) Member, Toa consultant Co., Ltd. \*18 京都大学 Member, Kyoto University \*19 (株)建設技術研究所 Member, CTI Engineering Co., Ltd. ※筆者は全員正会員

認められた。今回の地震では、大規模な斜面崩壊や大規模な地すべりが発生すると共に、斜面崩壊や地すべりの周辺の斜面において火山灰の堆積による表層土中に地震動の影響によると考えられる多数の亀裂が見られた。さらに、斜面崩壊による崩壊土砂や地すべりによる移動土塊が不安定な状態で、斜面や溪流内に堆積しており、今後の余震や豪雨により二次的に移動し、二次災害を引き起こすことが懸念された。

このようなことから、平成28年熊本地震により阿蘇火山地域とその周辺で発生した土砂移動現象および被害の実態を把握すると共に、これらの地域における余震や梅雨期の豪雨により生じる二次的な土砂移動現象による人命や人家等に対する危険度を調査し、余震や豪雨による二次災害の軽減に対する緊急的な提言を行うために(公社)砂防学会では平成28年熊本地震に関わる土砂災害に関する緊急調査団(第一次調査団長、石川芳治東京農工大学教授、第二次・第三次調査団長、久保田哲也九州大学教授)を組織し、先遣調査を2016年4月15日～17日、第一次緊急調査を4月22日～24日、第二次緊急調査を5月14日～15日、第三次緊急調査を5月28日～29日に実施した。第一次調査団の調査結果の概要をまとめて、平成28年4月27日に砂防会館において第一次緊急調査団の報告会を開催した。さらに(公社)砂防学会は平成28年熊本地震による土砂移動現象の実態と二次災害の危険度ならびに二次災害の軽減のための対応方法を示した緊急提言を作成し、平成28年5月6日に国土交通省西山幸治砂防部長に緊急提言を手渡すと共に提言の内容を説明した。

本災害報告では、第一次～第三次緊急調査により得られた調査成果を基に、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の実態をとりまとめて報告する。また、今後の余震や豪雨による二次的な土砂移動現象の可能性、ならびにそれらにより引き起こされる二次災害の危険性について報告する。さらに、それらの二次災害の軽減手法についても報告する。

## 2. 地震の概況

2016年4月14日21時26分に熊本県熊本地方(32°44.5′N; 130°48.5′E)を震央とする地震が発生した。震源の深さは11km、マグニチュード(M)は6.5であった。熊本県益城町宮園で震度7が観測された他、玉名市、西原村、宇城市、熊本市で震度6弱が観測された。余震への警戒が続けられていた中、4月16日1時25分に熊本県熊本地方(32°45.2′N; 130°45.7′E)を震央とする地震が発生した。震源の深さは12km、M7.3であった。西原村小森と益城町宮園で震度7が観測されたほか、熊本県内の広い範囲と大分県別府市、由布市では震度6弱以上が観測された。それ以降も、活発な地震活動が続

き、4月30日までに最大震度5弱以上を観測した地震が18回発生した。気象庁は、4月14日に発生した地震を平成28年(2016年)熊本地震と名付けたが、4月16日に発生した地震を踏まえ、4月16日の地震を本震、4月14日の地震を前震とした。

図-1に気象庁の震度データベース検索に基づいて作成した地震の震央分布を示す。一連の地震の震央は、熊本県南部から大分県中部に向けて、北東方向へ幅広く分布していた。この領域には、布田川断層帯、日奈久断層帯、別府-万年山断層帯の3つが存在している。地震調査研究推進本部地震調査委員会は、4月14日の地震は、日奈久断層帯の高野-白旗区間の活動によるもので、4月16日の地震は、主に布田川断層帯の布田川区間の活動によるものと考えられると評価した。

4月14日、16日の地震を含む多くの地震は、概ね南北方向に張力軸を持つ横ずれ断層型であった。4月16日の地震で震度7を記録した西原村小森と益城町宮園の最大加速度(3成分合成値)は、それぞれ899.1、904.0galであった。震度はそれよりも小さかったものの、最大加速度が、それより大きくなった地点も存在した。震度6弱以上を観測し、最大加速度が1,000galを超えたのは、南阿蘇村河陽(1,316.3gal)、大津町大津(1,791.3gal)、熊本北区植木町(1,026.9gal)、大分県別府市鶴見(1,155.0gal)であった。4月14日の地震では、最大震度が観測された益城町宮園で、816.7galを観測されたが、その他の地点の最大加速度はこれを下回った。地震による地殻変動も観測されており、南阿蘇村長陽では、4月16日の地震で、南西方向に約98cm移動した。なお、これらの情報は、主に政府の地震調査研究推進本部(<http://www.jishin.go.jp/>)によって行われた熊本地震の評価から得たものである。

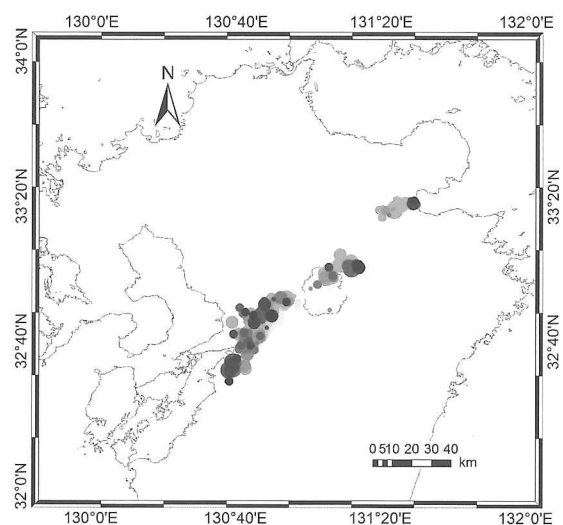


図-1 2016年4月14日から21日に熊本県、大分県で発生した地震の震央分布  
丸の大きさは地震の規模(マグニチュード)、色の違いは発生日の違いを示す(4月16日の色が最も薄く、21日の色が最も濃い)。

### 3. 地形・地質の概況

熊本県は九州本島の中央部に位置している。東部の阿蘇地方には世界有数の規模を誇るカルデラ地形があり、標高 1,500 m 前後で比較的なだらかな中央火口丘群や、その周囲を取り巻く急峻な外輪山が特有の地形を呈している。また、外輪山西斜面から続く洪積台地と、有明海に流れ込む白川・緑川などが形成した沖積低地が広大な熊本平野を形成している。

図-2 に阿蘇地域から熊本平野にかけての地質図を示す。阿蘇の中央火口丘群には新生代第四紀の新しい火山岩が分布している。この地域の火山活動は約 7 万年前以降に開始されたものと推定されており、地表には各火口から噴出した溶岩類と共に火山灰やスコリア等が堆積している。一方、カルデラの外周を成す外輪山には鮮新世から更新世前期までの古い安山岩等が分布しており、カルデラ内壁の急崖部分でよく観察することができる。また、さらにその外側には阿蘇火砕流が見られ、外輪山の外側のなだらかな山麓を形成している。

阿蘇平野に関しては、白川・緑川起源の砂礫層が広く

分布している。平野の南には活断層である日奈久・布田川断層帯が存在しており、さらに南では秩父帯や肥後帯に属する中～古生代の堆積岩・変成岩類が広く見られるようになる。

### 4. 被害状況

大きな被害を発生させたのは、4 月 14 日 21 時 26 分の地震と 4 月 16 日 1 時 25 分の地震である。4 月 14 日の地震では、益城町において特に著しい家屋倒壊被害、九州自動車道の路面陥没・通行止め、九州新幹線の列車脱線等が発生した。死者数は、倒壊家屋の下敷きによる益城町の 8 名と家屋内転倒による熊本市の 1 名（内閣府非常災害対策本部 4 月 15 日 18 時現在のまとめ）であった。

そして、4 月 16 日の地震による被害は 4 月 14 日よりも格段に大きく、震度 6 強以上の揺れを観測した 10 市町村などで建物損壊、道路不通、水道・電気・ガスの供給停止等が大規模かつ激甚に発生した。死者数は、内閣府非常災害対策本部 6 月 7 日現在のまとめによると 4 月 14 日からの累計が 49 名であることから、先の 4 月 14 日の地震による 9 名を差し引いて、40 名と推定される。次に述べるように、このうちの 9 名が土砂災害による死者である。

土砂災害について、国土交通省の 6 月 7 日現在の調べによると、熊本県における発生数は土石流等 54 件、地すべり 10 件、がけ崩れ 94 件で、合わせて 158 件である。これらは、国土交通省が所管する人家等に影響を与えた災害の件数であり、これ以外にも崩壊等の発生箇所は非常に多く存在した。土砂災害のうち死者の発生したものは 3 件、死者数は合わせて 9 名である。また、マスコミ報道によれば、このほかに行方不明の事案が 1 件あり、これは道路走行中の車が斜面崩壊に巻き込まれた可能性が高いものである。これらの 4 件を表-1 に示す。いずれも南阿蘇村において 4 月 16 日の地震により発生した。4 箇所は東西 4 km 南北 1 km の比較的狭い範囲内に集まっているが、崩壊した深さやすべり面付近の土質・岩質、土砂の移動形態や発生斜面の傾斜などが多様であった。このことは火山性斜面・地盤が崩壊を起こす素因を各種有していることの表れと考えられる。

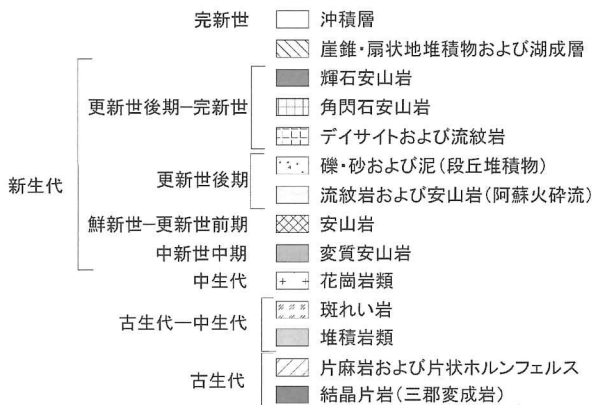
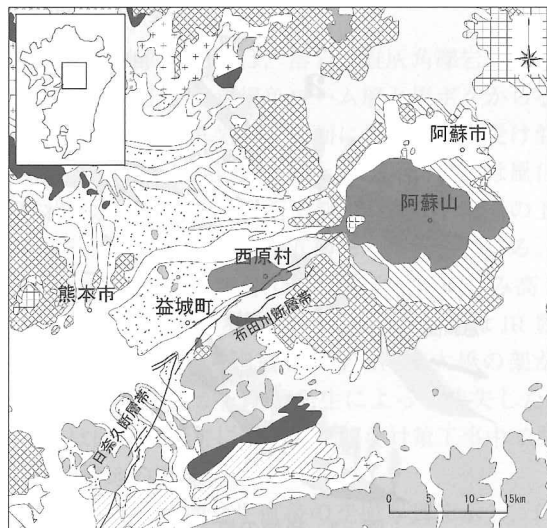


図-2 熊本地域の地質図

50 万分の 1 地質図幅 No. 14「福岡(第 3 版)」(1976), No. 15「鹿児島(第 2 版)」(1980), 50 万分の 1 活構造図 No. 14「福岡」(1985), No. 15「鹿児島」(1984) より合成, 加筆。

表-1 土砂災害による死者等の発生状況

場 所	発生現象	死者数等
南阿蘇村 立野 立野川地区	斜面崩壊に伴う土石流が下方の集落に氾濫	2
南阿蘇村 河陽 高野台地区	地すべりにより団地の複数の家屋が土砂に埋没	5
南阿蘇村 長野 火の鳥温泉地区	斜面崩壊によりホテルの離れの宿泊棟が倒壊	2
南阿蘇村 立野 阿蘇大橋付近	大規模な斜面崩壊により下方の JR 線路, 国道, 阿蘇大橋が押し流される	行方不明 1 車が巻き込まれたか

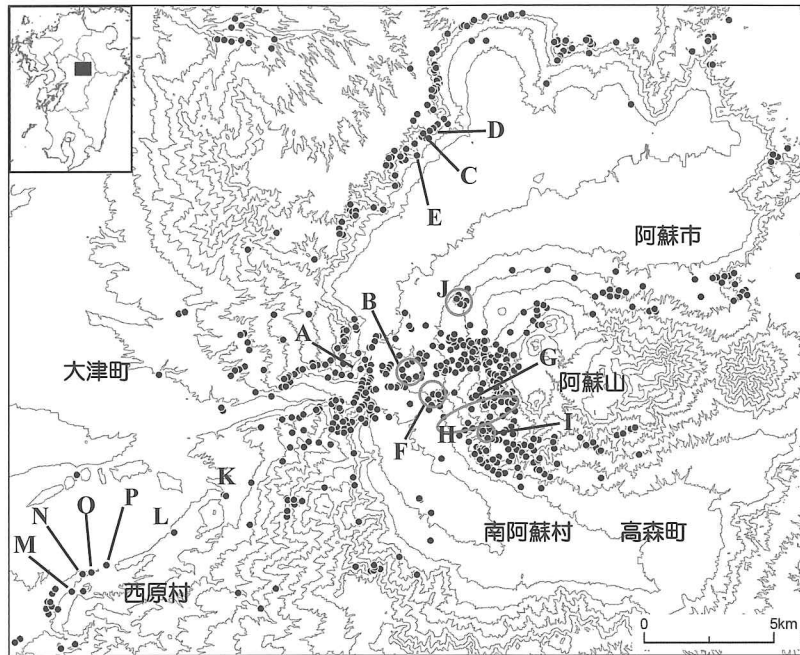


図-3 崩壊地の分布図 (国土交通省国土地理院, 2016 に加筆)

## 5. 土砂移動現象の実態

### 5.1 土砂移動現象の分布

国土交通省国土地理院が地震発生後の2016年4月16日、19日および20日に撮影した空中写真より作成した土砂崩壊地分布のKMLファイル(国土交通省国土地理院, 2016)を用いて、崩壊地の分布図を作成した(図-3)。崩壊地は、地震の震源断層に沿って分布している。とくに、カルデラ内壁、中央火口丘群周辺、阿蘇外輪山周辺に崩壊地が集中している。また、崩壊地の多くは、震源断層から両側に約20 km以内の距離に含まれる。さらに、面積が1 ha以上の大規模な崩壊地は震源断層から両側に約10 km以内の距離に分布している。

### 5.2 土砂移動現象の特徴

今回の地震に伴って大きな被害を引き起こした主な土砂移動現象の形態および特徴は以下のようにまとめられる。

#### 5.2.1 カルデラ内壁の崩壊

カルデラ内壁の草地や林地の急斜面において、表層の火山灰などの降下火砕物とその下位の風化した溶岩類の崩落が多数発生した(図-4 a)。崩壊規模は、土砂量数百 $m^3$ から6.1で示す阿蘇大橋地区で発生した崩壊のような数十万 $m^3$ という大規模なものまで様々である。同時に斜面脚部に発達した崖錐が崩壊した箇所も見られた(6.3で示す上の小屋川2流域など)。また、今回の地震ではカルデラ壁の尾根周辺斜面や崩壊地周囲に多数の亀裂が発生したことも特徴である。さらに、カルデラ内壁の崩壊は凸地形の急斜面でも発生し、尾根近くから崩壊したものが多かった。また、カルデラ内壁の急斜面からは落石も多数発生している。

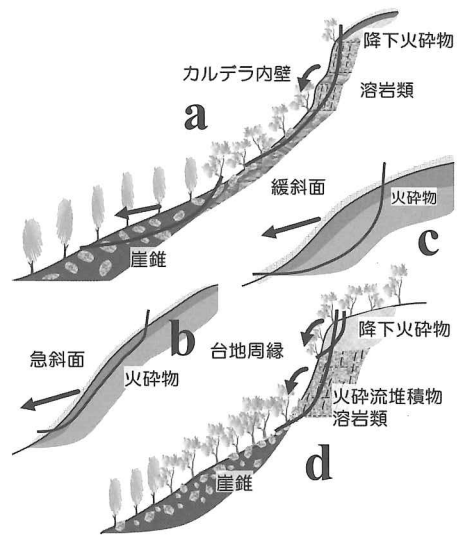


図-4 崩壊の模式図

#### 5.2.2 中央火口丘群周辺の急斜面の崩壊

中央火口丘群周辺の草地や林地の急斜面では火山灰を主体とする表層土がすべり落ちる表層崩壊が多数発生した(図-4 b)。崩壊規模は土砂量数百 $m^3$ から数千 $m^3$ であるが、多数発生したため、多量の土砂が溪流に堆積している。また溪流に入った崩壊土砂が土石流や土砂流となって流下し、農地等に被害をもたらした箇所もあった(6.4で示す山王谷川流域など)。特徴として、崩壊地周辺には地震で生じた亀裂が多数見られた。

#### 5.2.3 中央火口丘群周辺の緩斜面の崩壊や地すべり

中央火口丘群周辺には、火山灰やスコリアなどの火砕物や溶岩類が厚く堆積した丘陵地が分布している(図-4 c)。丘陵地の緩斜面において深さ数mから10 m程度の崩壊や地すべりが発生した。崩壊深が大きいと、前

項で述べた急斜面の表層崩壊より移動土砂量大きい。  
6.2 で示す京大火山研究センターが位置する丘陵地では地すべりが発生し、人的被害をもたらしている。また丘陵地の緩斜面でも地震による亀裂が多数生じている。

### 5.2.4 外輪山周辺の台地周縁の崩壊

阿蘇外輪山周辺域には火砕流堆積物や溶岩からなる台地が広く分布し、台地周縁の急斜面では多数の崩壊が発生した (6.5 で示す西原村布田川流域など)。表層の火山灰などの降下火砕物やその下位の火砕流堆積物や溶岩が崩壊した (図-4 d)。台地に刻まれた溪流には多量の土砂が堆積している箇所もある。

以上のほか、南阿蘇立野地区の白川河岸の急斜面では崩壊や地すべりが発生し、その斜面上部段丘上の農地や道路が被災した。

## 6. 代表的な土砂災害

### 6.1 阿蘇大橋地区の大規模崩壊 (図-3 の A)

#### 6.1.1 地形・地質・植生および土地利用

崩壊が発生した斜面は、阿蘇カルデラ壁から張り出した支尾根の遷急線付近にあたる。その下方は遷緩線を経て崖錐地形となり、その末端は黒川の河道で縁切れ深い渓谷となっている。

斜面上部の地質としては、溶岩や凝灰角礫岩等の互層からなる基岩の上を、黄褐色ローム層と黒ボクからなる表土が覆っている。基岩は崩壊面に対してやや受け盤をなす層理面を持つと共に、表土との境界付近では風化して角礫状になっている。斜面下部の地質は、溶岩の上位にローム、シルト、礫などが互層をなす構造である。

植生は大部分がヒノキ林で、斜面頂部付近のみ高さ 2 m 程度のササ密生地となっている。斜面下部は JR 豊肥本線や国道 57 号が走り国道 325 号の阿蘇大橋の架かる交通の要衝であったが、崩壊発生によって流失した。6 月時点では国土交通省による緊急的な対策工事中である。

#### 6.1.2 崩壊地の概況

口絵写真-1 に崩壊発生直後の空撮写真を示し、口絵図-1 に地震後の航空レーザ計測データ (以降 LP データと呼ぶ) から作成した崩壊地概況平面図を示す。遷急線付近で発生した崩壊土砂が、崩壊地南側の支尾根に規制されてわずかに北向きに流下方向を変え、黒川河道に流入した。JR および国道の横過部より下流側には二次的な崩壊地も認められる。ここでは崩壊地を一次崩壊発生域 (約 2.6 ha)、流下・堆積域 (約 10.0 ha)、および二次崩壊発生域 (約 2.9 ha) の 3 つに区分する (合計約 15.5 ha)。一次崩壊発生源から黒川河道までの直線距離は約 800 m で、最大幅は一次崩壊発生域で約 170 m、流下堆積域および二次崩壊発生域で約 280 m である。

図-5 には地震前後の LP データを用いた縦断面を示す。最大崩壊深は一次崩壊で 20 m 以上、二次崩壊で 10 m 以上となっている。流下・堆積域においては侵食・堆積深は大きくない。LP データの標高差解析によ

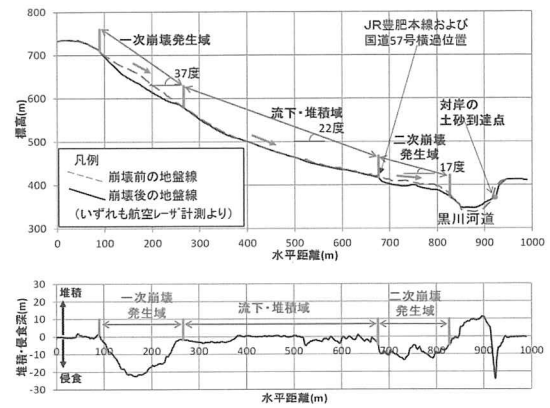


図-5 縦断面図および堆積・侵食深縦断面図

て土砂量を算出した結果 (表-2)、崩壊地全体の生産土砂量は約 54 万 m<sup>3</sup> 以上、堆積土砂量は約 5 万 m<sup>3</sup> 以上で、その差約 49 万 m<sup>3</sup> が黒川河道に流出したことになる。

#### 6.1.3 一次崩壊の発生機構

一次崩壊は遷急線付近で発生し、斜面下方に開いて抜け落ちたような形状を示す。一般に地震動による加速度は斜面凸部で増幅されることがわかっている。一方で基岩の堆積構造は受け盤であるため、特定の弱層や難透水層に沿ってすべり落ちたとは考えにくい。実際、地下水の関与を示す積極的な証拠は現地では見当たらなかった。これらから崩壊の主な誘因は前期降雨や地下水ではなく、地震動であると考えられる。

次に、崩壊面底部の露頭では基岩が風化しつつも累層構造を残す一方で、崩壊面側部では基岩が風化し角礫化した状態であるのが確認された。また崩壊地頭部の北側斜面では、地形判読や露頭観察等により岩盤クリープが発生していた可能性が示唆された。

#### 6.1.4 二次崩壊の発生機構

二次崩壊発生域の崩壊前後の LP データを比較すると、二次崩壊発生域末端にあたる黒川河岸の地形は変化していない。また現地露頭観察によれば地表付近の土層構造はローム～礫質土砂の互層からなっているが、その層理の連続性を対比した結果、頭部の段差は滑落層ではないと判断された。層理面は河道下流方向に 5 度程度の勾配を持つ流れ盤となっており、この勾配は崩壊地内部の緩斜面の勾配とほぼ一致していた (写真-1)。礫層とローム層の境界の一部では、水のしみ出しが見られた。

したがって二次崩壊の発生メカニズムとしては、①斜面上部からの崩土の流下に伴って地表が強いせん断力を

表-2 土砂量概算集計表 (単位: 万 m<sup>3</sup>)

	当該領域内の		上流からの 流入土砂量	下流への 流出土砂量
	生産土砂量	堆積土砂量		
一次崩壊発生域	25	0	0	25
流下堆積域	10	5	25	30
二次崩壊発生域	19	0	30	49
合計	54	5	-	-



写真-1 二次崩壊地内部の緩斜面と層理

受け、強度や含水条件の異なる土層境界をすべり面として、黒川河道方向にブロック状にせん断された、②斜面上部からの崩土の流下に伴って、緩勾配となっている河岸付近では表層の比較的柔らかい土層が削り取られながら黒川に流れ込んだ、の2つが考えられる。なお、これらの現象の発生には地震動の影響も加わっている。

#### 6.1.5 崩土の流動性について

口絵写真-1や図-5を見ると、黒川河道内には若干の崖錐形成と湛水は見られるものの、明確な天然ダムは形成されていない。現地調査時に対岸斜面を確認したところ、樹木の流失・倒伏や土埃の状況(写真-2)から、崩壊土砂は黒川河床からの比高30~60m程度まで到達したと推察された。一方でこの想定土砂到達範囲の上流では、対岸の樹木に泥水で汚れた形跡がなかった。これらから、崩壊発生直後にも明瞭な天然ダムは形成されなかったと考えられる。なお崩土の流下方向と黒川河道のなす平面的な角度は70度程度である。

上述したように一次崩壊において地下水が関与した痕跡が見られないことから、崩土は不飽和の状態であったと考えられる。それにも関わらず、70度程度の高角度で河道に流入しても天然ダムを形成しないほどに崩土が流動化していたことは重要であり、地震動による崩土流動化の可能性が示唆される。

#### 6.1.6 周辺斜面の亀裂と不安定ブロックの評価

崩壊地の周辺斜面には多数の亀裂(深度2m程度以下)が存在し、とくに密なところでは1m内外の間隔で無数に存在する状況であった。しかし現地を見る限り、



写真-2 対岸の黒川河岸の植生破壊状況

広範囲からの表面流が亀裂を通じて集中的に地下に供給されるようなシステムは形成されていない。このため、崩壊地直近を除けば、亀裂が今後の崩壊発生の原因となる積極的な根拠は思いつかない。しかし、亀裂の多さが既に強い地震動を受けた証拠であり、かつ、土質によっては繰り返し荷重によって強度低下を招く可能性があるならば、今後の崩壊発生の危険を示す指標となる可能性がある。

一方、一次崩壊頭部の両側部には、すべり変位によって周囲に亀裂の発生した、不安定な残存ブロック(口絵図-1のピンク着色部)が存在する。露頭観察と地形判読によれば、崩壊地南側ブロックが表土のみのすべり(深度2m程度)であるのに対して、北側ブロックの変形は基岩風化層に及んでいると考えられる。また北側ブロックでは4月17日~5月14日の間にも末端部の崩壊が進むなど不安定である。

#### 6.1.7 今後の課題

地震によって遷急線付近が崩壊しやすいことは周知の事実であり、一次崩壊の発生はこれと矛盾しない。本事例で注目すべきは次の点であり、今後研究を進める必要がある。①同様の地形・地質を持つ斜面が多数有る中で、この斜面だけが大规模に崩壊した点、および亀裂の発生した周辺斜面における今後の崩壊発生の危険性。②不飽和崩土の流動化に地震動が影響した可能性。③5度程度という極めて緩勾配な層理面を境界としたせん断あるいは削剥の発生に地震動が影響した可能性。

#### 6.2 京大火山研究センター周囲の地すべり(図-3のB)

京大火山研究センターが位置する溶岩ドーム周辺で発生した斜面における5つの土砂移動現象を対象に調査を実施した(口絵図-2)。これらはいずれも移動土塊の乱れが少なく、ほぼ原型を保っていることと、移動土塊の大部分が斜面内にとどまっていることから地すべりと考えられる。

##### 6.2.1 地形・地質、発生機構および規模

調査箇所は高野尾羽根(たかのおばね)火山による溶岩ドーム(標高567m)である。ドーム北部斜面の斜面勾配は30度以上と急峻だが、南部斜面は概ね20度以下の緩斜面であった。

ドームを構成する地質は、約5万年前に噴出した高野尾羽根溶岩(流紋岩溶岩、旧火山研究所溶岩)であり、上位の表層地質は、黒ボクと黄褐色のロームが2~3層で互層し、一部では、橙色の軽石層(草千里ヶ浜降下軽石)が数cm~30cm程度の厚さで挟在するのが確認できた。

植生は、南西斜面(地すべり①、②)では、格子状に桜が植林されているが成熟していない。地面には芝を中心とした草本植生が見られる。北側斜面(地すべり③、④)は草本植生で覆われており、水が豊富な場所で出現するフキが斜面上部で見られた。地下浅くには枯れたササの根系が多く見られた。南側(地すべり⑤)は、スギ・ヒノキの植林地である。

地すべり①、②の頭部は南西向きな平滑な斜面に伏在する橙色のやや湿潤した橙色軽石層付近をすべり面とし、その上位のローム、黒ボクが3つのロープに分かれて流下した(写真-3)。軽石層の深度が深い南のブロックは地塊状にすべり、深度が浅くなる西側では小塊状となり全体として流動しながら流下した。

災害前の地形には、地すべり①、②を包含する凸型緩斜面が見られ、過去の斜面変動領域の再活動が推定される。

地すべり③では頭部の滑落崖には過去の斜面変動によってローム、黒ボクが相互に混在するのが確認され、遷急線にある基盤を覆う崖錐性岩屑堆積物上面をすべり面としている(写真-4)。

地すべり④は、混在したローム、黒ボクがすべり落ち、段丘面上のロームとともに河床まで押し出した(図-6)。側方崖に過去の地すべりの低角度で平滑なすべり面が確認され(写真-5)、災害前の地形にも段差地形が見られ



写真-3 地すべり①頭部の滑落崖と背後のクラック(位置は口絵図-3に示す)



写真-4 過去の斜面変動により混在したローム、黒ボク(位置は口絵図-3に示す)

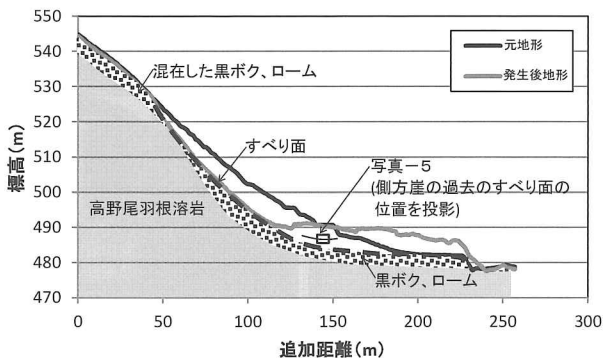


図-6 地すべり④の推定断面図

る。災害前の地形の連続から地すべり③、④を両側部とする過去の斜面変動領域が推定され、今回の災害ではその一部が再活動したと考えられる。

地すべり⑤は、斜面のローム、黒ボクがすべり落ち、一時的に河道閉塞が発生している。地すべり⑤の北側には馬蹄形凹地とその内部の凸型緩斜面により示唆される過去の斜面変動領域が見られ、その先端部に地すべり⑤が位置している。

地震発生前後のLPデータ(H25年1月とH28年4月17日計測、1m DEM)の差分解析により地すべりの規模を計測した(口絵図-2)。5地すべり中、①が侵食幅150m、最大侵食深10.3m、侵食量15.3万 $m^3$ と最大であり、次いで、④、②、⑤、③の順であった(表-3)。5箇所地すべり共に侵食量と堆積量はほぼ等しく(収支は数千 $m^3$ 以内)、生産土砂の大部分は斜面下部に残されている。

### 6.2.2 滑落崖上部および溶岩ドームの亀裂と危険度評価

滑落崖上部の亀裂は、開口幅、深さ共に1m以上と大きく、不安定な状況にある。溶岩ドームの亀裂の分布や災害前地形、過去の斜面変動を示す地質要素から、亀裂の一部は古い地すべりやクリープゾーンの輪郭に沿って形成された可能性がある。当該調査では顕著な変化はなく、急激な斜面の不安定化は予測されない(口絵図-3)。

### 6.2.3 警戒対応や恒久対策検討に向けての基本的な提案

今回の緊急調査では、緊急性を要するような進行性の高い変状は確認されなかったが、流動性の大きな地すべり(地すべり①、②、④)や過去の地すべりの再活動、丘頂平坦面に見られた斜面変動領域拡大などの挙動について警戒していく必要がある。今後も、すでに構築されている地表面伸縮計による観測や定期的な目視点検等の

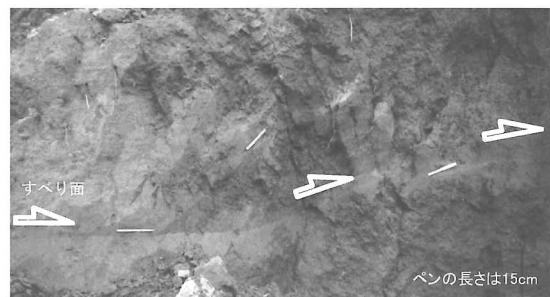


写真-5 過去の地すべりの低角度なすべり面(西側の側方崖をなす直壁を水平方向に撮影、位置は図-7および口絵図-3に示す)

表-3 地すべりの規模(単位:m, 万 $m^3$ )

番号	侵食幅	侵食深	侵食量	堆積量	収支
①	150	10.3	-15.3	15.1	-0.2
②	70	10.5	-4.0	3.3	-0.7
③	30	5.5	-0.3	0.2	-0.1
④	120	8.6	-4.3	4.0	-0.3
⑤	90	10.6	-1.9	1.8	-0.1

低負荷の観測を維持し、地すべりの活動性と降雨や地震動との関連性についてデータを蓄積し、恒久対策の方法を検討していくことが望まれる。

すべり性 (③, ⑤) と高流動性 (①, ②, ④) の2つの変動タイプの土砂移動が認められた。今後、滑走領域の地形特性や植生と移動距離との関係などを整理し、火山地域の地震による土砂災害危険区域図の作成手法の開発等に関する基礎データを提供したい。

### 6.3 カルデラ壁の崩壊と土石流

阿蘇市狩尾・三久保の崩壊地3箇所周辺を調査した(口絵写真-2, 写真-6)。

#### 6.3.1 カルデラ壁における崩壊地の特徴

主に先阿蘇火山岩類(一部阿蘇火砕流堆積物)で大規模な崩壊が発生している。崩壊機構は先阿蘇火山岩類の構造により2つに分類される。1つは硬質で割れ目を有する溶岩(透水層)と割れ目のない自破碎溶岩・凝灰岩等(不透水層)が層状に分布する地点で、上の小屋川2~3がこれに相当する。2つ目は全体が硬質で割れ目の多い溶岩から構成される地点で、宇土川がこれに相当する。前者は崩壊斜面に湧水(沢水)があり、崩壊により生産された礫混じり土砂が崩壊後の雨で土石流化している。後者は揺れによる崩落・崩壊が見られ、生産物は細粒分が少ない瓦礫の集積であるため土石流が生じにくい。

上の小屋川2~3は角閃石安山岩溶岩(阿蘇火山地質図, 1985)が分布し、滑落崖に湧水が見られ、土石流等の発生が確認された。一方、近隣溪流の輝石デイサイト軽石・火砕流、輝石安山岩溶岩の分布域には、湧水・沢水がなく、土石流の発生はない。崩落・崩壊が主に見られる宇土川も輝石安山岩溶岩の分布域である。以上から、地震時の崩壊と土石流の危険性を考えるうえで湧水が生じる水理地質構造を有する角閃石安山岩溶岩分布域は重要と考える。ここでの湧水は中腹部の沢水水量が35ℓ/分(上の小屋川2, 5月15日計測)とやや多いが、EC値は4~5mS/mとやや小さく、浅い地下水と考えられる。湧水が続くと沢枯れする(6月2日確認)ことから、降雨時に浅い地下水が集まりやすい構造にある。

カルデラ壁で最も多い地震後の土砂移動は、安山岩溶岩急崖部の崩落であり、宇土川等の直線型や凸型斜面で発生している。急崖部から崩落した礫が下方の崖錐斜面表層を削剥しているが、宇土川を除くと、深さは1m程度と小さい。

崩壊土砂量が比較的多い上の小屋川2~3の崩壊地では、安山岩溶岩急崖部の崩落、急崖部上方の表層崩壊、



写真-6 調査対象地の全景

急崖部下方の崖錐斜面の崩壊・削剥・侵食が複合的に発生し、巨礫混じりの土砂が生産されている。崩壊斜面の形状は凹地型で、恒常的な湧水が確認された。複合的な崩壊の発生箇所では、地震動以外に、湧水が影響した可能性がある。

#### 6.3.2 上の小屋川2(図-3のC)

谷出口から約1.2km上流の本川左岸斜面に並列する3支溪で崩壊が発生した。中央部の崩壊が最も大規模で、その概略値は幅70m、長さ250mである(写真-7の左)。3支溪の崩壊地から生産された土砂量は約3.5万m<sup>3</sup>であった。

多数の亀裂が分布する表層・ローム層の斜面で、崩壊に関連する亀裂は、「崩壊地の頭部周辺の亀裂(拡大崩壊)」と「斜面の遷急線付近にある亀裂(新規崩壊)」である。上の小屋川2の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、拡大崩壊の可能性が高い。

斜面頂部で発生した崩壊は、急勾配斜面を流下し、本川にほぼ直角に流入し堆積している。堆積土砂は細粒分が多く、本川対岸まで到達している。4月20日撮影の航空写真では、崩壊地下部の崖錐斜面で堆積土砂の二次移動が確認された。4月16日22時~17日7時に連続雨量40.5mm、最大時間雨量13.5mmの降雨(気象庁阿蘇山観測所)があり、この降雨により二次移動が生じた可能性が高い。流出した土砂は、崩壊地より下流約300mの治山谷止工堆砂敷に薄く堆積していたが、治山谷止工より下流約300mの砂防堰堤までは到達していないことが確認された。

#### 6.3.2 上の小屋川3(図-3のD)

谷出口から約700m上流がY字状の谷形状を呈し、その両支溪で崩壊が発生している。そのうち、右岸側の崩壊が顕著で、最も大規模な崩壊で概略値は幅50m、長さ120mである(写真-7の右)。両支溪からの生産土砂量は約2.5万m<sup>3</sup>であった。

崩壊・崩落は、4月16日の本震で発生した。上流域には、崩壊・崩落で溪床に供給された多量の不安定土砂が急勾配で堆積し、谷出口から600m上流の最上流治山谷止工付近まで崩壊土砂が到達していた。その後、4月21日12時~13時の間に土石流が発生した(工事関係者聞き取り)。

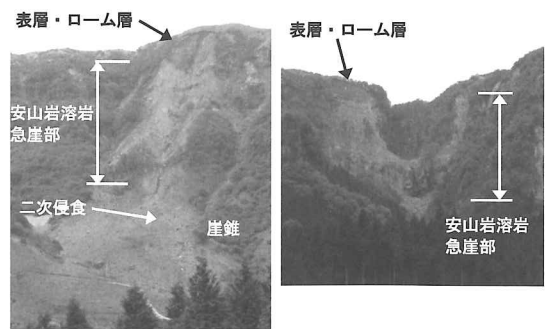


写真-7 上の小屋川2(左)と上の小屋川3(右)の崩壊地



発生した土石流は、上流 3 基の治山谷止工袖部を全面越流したが、巨礫群が堆砂敷で停止した。また、細粒土砂は最下流に位置する施工中の砂防堰堤の床堀面（高さ 1.5 m まで打設）で捕捉され、下流溪流保全工に土砂は流下しなかった。土石流発生後の除石・除木量から、上流 2 基目の治山谷止工下流に到達した土砂量は約 1.2 万 m<sup>3</sup>、流木量は約 500 m<sup>3</sup>と推定される。また、最上流の治山谷止工と、その上流域（写真-8）の 2 箇所です土石流の痕跡を基にしたピーク流量を試算したところ、いずれの断面においても 400 m<sup>3</sup>/s 程度であった。

下流の工事現場事務所で観測された土石流発生までの降雨は、累加雨量 72.25 mm（4 月 21 日 6 時～13 時）、最大時間雨量 21.5 mm（同日 12 時）であった。近傍の気象庁阿蘇乙姫観測所データを基に、4 月 21 日降雨を、近隣溪流における豪雨時の土石流発生実績（H 13, H 24 年）と対比すると、地震による崩壊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-4）。

### 6.3.3 宇土川（図-3 の E）

直線型斜面で崩落・崩壊が発生した。崩落した岩塊により斜面中腹の表層が 4 m 程度の深さで、長さ約 300 m にわたり削剥されている。崩落・崩壊の概略規模は、幅 80 m、崩落部の長さ 100 m、崩落・崩壊・削剥による生産土砂量は約 3.3 万 m<sup>3</sup> であった。

斜面頂部で発生した崩壊は、林道を分断し、市道の手前約 100 m で停止している。崩落した岩塊（最大礫径 1.6 m）は、崖錐斜面の遷線下方に 1/4 勾配で堆積している。崩落土砂の末端は、流木が立木に噛み合って停止し、4 m 程度の高さでダムアップしている。削剥された斜面に存在したスギ林は、崩壊地縁辺以外に認められず、ほとんどの立木は崩落した巨礫によりなぎ倒され、堆積土砂の下方に埋没したとみられる（図-7）。倒木量は、隣接斜面の立木状況から約 1,300 m<sup>3</sup>と推定される。

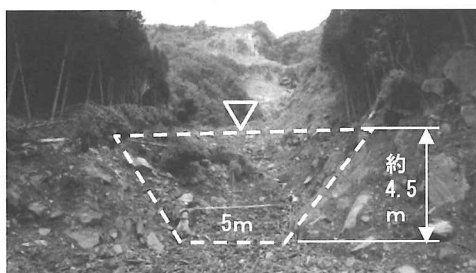


写真-8 上の小屋 3 の源頭部と流量算定断面

表-4 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
日雨量 (mm/day)	確率雨量	488.4	442.7	408.9	381.8	334.6	285.5	211.3	
	土石流発生時	493.0 H24.7.12					276.0 H13.6.29		125.0 H28.4.21
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	108.0 H24.7.12			81.0 H13.6.29				26.0 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

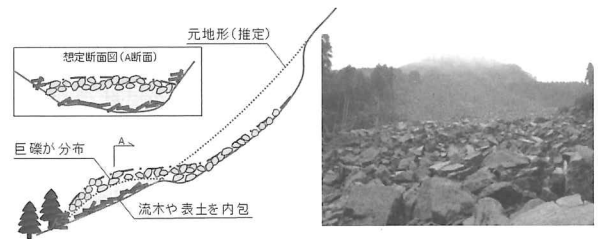


図-7 宇土川の土砂堆積イメージ

### 6.3.4 今後の課題

今回の熊本地震に伴うカルデラ壁での土砂移動現象から、比較的大規模な土砂移動の発生には、湧水の影響があることが推測された。カルデラ壁斜面の溪流における地震後の土砂生産・流出特性を評価し、土砂災害対策優先度が高い溪流を抽出するには、地形・地質・水文調査を組み合わせて、溪流内の恒常的な湧水の有無を評価することが必要である。

### 6.4 中央火口丘群周辺の崩壊と土石流

調査を実施した阿蘇山中央火口丘の南西麓は、火山噴出物である安山岩・玄武岩質の溶岩により緩斜面が形成されている。山麓斜面に発達する水系は東西方向に卓越して流下し、侵食によって溪岸斜面は急峻（40～50度）な崖地形を形成している。地質は、上述の硬質な岩体や熱水変質を受けて粘土状に変質・脆弱化した領域が不規則に分布していると推測される。

調査地は、中央火口丘群西側の火の鳥温泉地区、吉岡地区、山王谷川流域、垂玉温泉地区、蛇の尾地区である。

#### 6.4.1 火の鳥温泉地区（図-3 の F）

火の鳥温泉地区では「ログ山荘火の鳥」および「南阿蘇リゾート」の背面の斜面が崩壊し、2名の犠牲者等被害が発生した。

「ログ山荘火の鳥」の北西側の崩壊は、源頭部の傾斜約 35 度、崩壊規模が幅約 50 m、長さ約 100 m、平均深さ約 5 m と推定される（口絵写真-3）。「ログ山荘火の鳥」では崩壊土砂が直撃し、2棟を残して建屋が全壊した。崩壊源頭部付近には、非常に高含水で脆弱な物性を示す強変質した火砕岩が存在し、崩壊の素因と推測される。なお、崩壊頭部の上位斜面や周辺に、多くの亀裂が確認された。一方、「南阿蘇リゾート」東側に、幅約 50 m、奥行き約 25 m の崩壊が発生した（口絵写真-4）。滑落崖の高さは約 10 m で、元斜面の全体の傾斜が 15 度と緩く、崩壊した土塊の一部が斜面の上部や中部にもと

表-5 ログ山荘火の鳥と南阿蘇リゾートの崩壊地の土砂移動から算定した等価摩擦係数

	比高差(m)	水平移動距離(m)	tan α	α(度)
ログ山荘火の鳥	100	305	0.328	18
南阿蘇リゾート	30	112	0.268	15

どまっていることから「地すべり」に近い現象と考えられる。また、当該崩壊の滑落崖の山側には亀裂が連続している。

LP データに基づき算定した等価摩擦係数の値を表-5に示す。南阿蘇リゾートの方が、流動性が高いことがわかる。

今後、豪雨等により崩壊拡大が懸念されることから、当面は、伸縮計等による崩壊の発生監視や大型土のう袋による崩壊堆積土砂の再侵食に伴う流出の防止対策を基本とし、恒久対策としては、不安定土砂の排除や抑止的な対策の検討等が必要である。

#### 6.4.2 吉岡地区 (図-3のG)

吉岡地区の崩壊は、草千里の西南西約 2.1 km に位置する。緩やかなやせ尾根の頂部付近の遷急線から、南向き斜面内に多数の亀裂と、上・下方の崩壊を確認した。上方側の幅約 25 m、長さ約 70 m、平均深 5 m 程度の崩壊は、流出方向が居住区域と異なり、人的被害の危険性は低い。下方側の幅約 25 m、長さ約 25 m、平均深さ 0.5 ~ 1 m 程度の崩壊は、崩壊地上部に複数の亀裂が存在し、崩壊が拡大することが懸念される。また、この約 40 度の急な崩壊地斜面内に浮石状の径 1 m を超える巨石が存在し、その一部が、人家 (非住家) に到達していた。なお、今後の拡大崩壊に対する対応は、「火の鳥温泉地区」と基本的には同様な考え方で対応すべきと考えられる。

#### 6.4.3 山王谷川流域 (図-3のH)

山王谷川は、流域面積 2.3 km<sup>2</sup>、平均河床勾配 1/7 の流域、保全対象人家 93 戸で、土石流危険渓流 I に指定されている。

気象庁南阿蘇観測所における本震前の 1 週間における降雨量は 4 月 13 日の 5.5 mm のみと少なかった。しかしながら、山王谷川流域では、上流域で多数の崩壊地が確認されると共に、谷出口の直下流および谷出口より約 1,600 m 下流の 2 箇所です砂・流木の氾濫が認められた。谷出口の山王谷川砂防堰堤より上流域は、川幅 10~30 m で切り立った地形を呈している。連続的な溪岸崩壊が発生しており、湛水や土石流の流下痕跡も認められることから、小規模な天然ダムが一時的に形成され決壊・流出したことが推察される。渓流内にはいまだ多くの崩壊土砂および流木が堆積している。地震前後の地形データを用いた差分解析では崩壊土砂量の概略値は、約 80 万 m<sup>3</sup> と算出された。

山王谷川砂防堰堤の右岸袖部は、約 100 m 下流に流出している。堰堤の直上流左岸の地すべり性の崩壊に規制された土石流が右岸側に乗り上げ、右岸袖部が破壊されたと推察される。ただし、堰堤本体は大量の土石や流木をしっかりと捕捉し機能している。また、堰堤下流約 400 m の橋梁部の閉塞等に伴い、橋梁~堰堤間には黒ボクを主体とする土砂と流木の氾濫・堆積が認められる。砂防堰堤下流には溪流保全工が整備されているが、下流側の氾濫域までの区間では一部で護岸上部に土砂が乗り

上げているものの、ほとんどの土砂が溪流保全工内を流下している。同区間の溪流保全工内には径 1.5 m 程度の巨礫が多く残存していた。下流側の氾濫は溪流保全工の勾配が緩く、湾曲する地点から始まっている。当該氾濫域では黒ボクが主体の土砂に加え、流木 (平均長さ 4.1 m、平均直径 22 cm) が多く堆積している (口絵写真-5)。

山王谷川砂防堰堤の下流約 400~1,000 m の範囲に居住する 5 名 (全て男性、年齢 47~79 歳) より得られた証言より、本震直後に「ジェット機のような音」、「巨石が引きずられるような音」を聞いたり、「夜明け後に、長野橋付近にて、護岸天端まで流木を含む“歩く速度未満の泥状のゆっくりした流れ”を見たことがわかった (写真-9)。これらより、本震後まもなく土石流が発生していたこと (4 月 15 日の衛星画像では本溪流内では大規模な崩壊や天然ダムの形成は確認されないことから、16 日の本震により天然ダムが形成され決壊・流出したと考えられる) や流量 20 m<sup>3</sup>/s 程度 (歩く速度未満と長野橋での流路断面約 40 m<sup>2</sup> より推定) の高濃度の泥状の流れであったと推定される。

今回の地震の影響により流域の水文環境が大きく変化していることも想定され、これまで土石流が発生していないような少雨でも上流域の崩壊の拡大および溪床不安定土砂の二次移動と、これに伴い連続的に土石流が発生することが懸念される。当面は、ワイヤーセンサーに加えて、連続的な土砂移動を対象とした振動センサー等による監視や山王谷川砂防堰堤堆砂地における除石 (緩衝帯の設置必要) 等を実施し、将来的には谷出口周辺及び溪流内での土砂・流木捕捉工の整備が必要である。

#### 6.4.4 垂玉温泉地区 (図-3のI)

垂玉温泉地区では「北側」および「東側」に崩壊が認められた。垂玉温泉の「北側」の斜面において、幅約 30 m、長さ約 25 m、平均深さ 3 m で崩壊が発生している。崩壊した土塊は黒ボク・ロームを主体とするが、その直下位に分布する亀裂の多い溶岩部を一部巻き込んで流下している。崩壊・流下した土砂は斜面下方に残存しており、垂玉温泉や道路に達してはいない。



写真-9 泥状のゆっくりした流れ (長野精一郎氏提供)

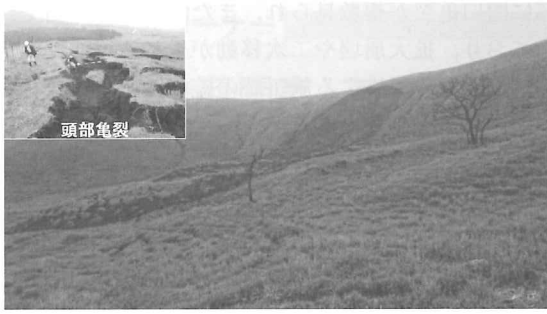


写真-10 蛇の尾地区南側の崩壊状況

一方、「東側」に位置する滝状の斜面上部で発生した崩壊による土砂が流下し、垂玉温泉に被害を及ぼしている。崩壊の上部には多数の亀裂が残存していることから、今後の地震や降雨により崩壊地が拡大することが懸念される。

#### 6.4.5 蛇の尾地区 (図-3のJ)

阿蘇山北西部の蛇ノ尾地区はスコリア丘からなり、これを覆う黒ボクおよび火山灰が地震により崩壊、堆積している。スコリア丘の北・南側に計6箇所の崩壊が発生しており、南側の2箇所を調査した。両方とも表層崩壊であり、勾配34~36度、幅40~50m、斜面長90~100m、深さは平均約2m、崩壊土砂量0.8万~1万 $m^3$ 程度である(写真-10)。両崩壊地の移動土砂の等価摩擦係数は約0.31~0.36、見通し角は約17~20度(現地測定)であり、ほぼ同様な流動性であると考えられる。今回の地震により斜面脚部にあった部分が背後から押されるように水平部の堆積先端へ移動したように見えた。また、未崩壊斜面においても、斜面脚部の波打ち(皺状の景観)が至るところに認められ、今後、同じような崩壊が生じる可能性があると考えられる。さらに、崩壊地上端より上方の尾根・遷急部には、崩壊とは関係なく尾根筋に沿って連続した亀裂が多数生じている。亀裂幅2~3cm~1~2m、亀裂深さ50~100cm、尾根の上部ほど大きく、今後の地震活動や豪雨の際、崩壊の拡大や新規崩壊が発生する危険性が高いと考えられるが、周辺には人家等は存在しない。

#### 6.4.6 今後の課題

中央火口丘群周辺における崩壊・土石流では、黒ボクやロームなどの緩い表層が非常に強い地震動の影響で流出したこと、その時土砂・土塊中の含水の湧出や地下水・流水等の影響により移動土塊が流動化した可能性があること、崩壊地や溪流には崩壊残土や溪床堆積物等不安定土砂がきわめて多いこと、崩壊地周辺には亀裂が多いこと等が特徴であった。今後、高含水比の土質層が分布する火山地域における地震時等における流動化および到達距離の把握、今後の豪雨による不安定土砂の土石流化の監視や効果的な土砂・流木流出防止対策の検討等が必要である。

### 6.5 西原村の崩壊と土石流

図-3において西原村・益城町には大小54箇所以上

の崩壊が確認された。このうち布田川断層沿いに分布する規模の大きな崩壊地、河道閉塞を伴う崩壊地を対象に現地調査を実施した。

#### 6.5.1 大切畑橋南側斜面の崩壊 (図-3のK)

大切畑大橋の南側斜面において崩壊が発生し、崩壊地中腹を横断する県道28号と並走する道路が破壊され、袴野川を河道閉塞する被害が発生した(口絵写真-6)。崩壊は、標高280m付近の遷急線付近を発生源とし、高さ約80m、幅約200m、崩壊深は、1~3mであり、推定崩壊土砂量は約1.5万 $m^3$ 程度と推定される。崩壊地斜面の傾斜は約60度の直線型斜面であり、基盤地質は溶結凝灰岩、火山灰質粘性土であり、崩壊面には黒色火山灰が認められた。地震により大きな加速度が斜面土層に加わり表土層を滑動させたものと考えられる。

現地調査時には、斜面下部には、小規模なガリー(最大幅1.6m、高さ1.1m)が見られ、地震後の降雨により堆積土砂の二次移動が生じている様子が見られたが、斜面上に湧水などは確認されない。また、斜面上部の樹木が一部倒れこみ、わずかにすべった痕跡のある崩壊土塊が斜面にそのままの形状で残っており、これらの再移動が懸念される。

崩壊地斜面背後の山地稜線部において、落差を伴う開口亀裂が等高線沿いに多数発生しており、それが弱線となり、今後の降雨により崩壊が拡大する恐れがある。また、大切畑ダム側の斜面にも亀裂が見られ、今回発生した河川側とは異なる方向への崩壊も懸念される。斜面上部の亀裂が発生している箇所、熊本県による伸縮計などによる監視が行われている。

河道閉塞は、河道幅約4m、高さ1.2m、延長約25m区間で発生しており、上流側は湛水している。深さ約0.1m、幅1.4mの水みちが形成され、閉塞区間を越流しており、細粒分が一部下流側へ流出しているものの、大きな侵食状況は見られない。規模が小さいため、河道閉塞区間の土砂が急激に決壊し土石流や泥流、段波状の洪水が発生する恐れは低いものの、洪水時の越水氾濫や閉塞土砂の二次移動が懸念されることから、閉塞部土砂撤去を早急に行う必要がある。また、崩壊斜面の安定化を図るため、山腹工・法面対策工などによる恒久対策が必要である。

#### 6.5.2 布田川下流の崩壊 (図-3のL)

布田川下流の約300m区間の両岸において、崩壊が連続的に発生した(口絵写真-7)。当該箇所は、今回の地震前から崩壊跡地となっており、今回の地震により再崩壊や拡大崩壊を起こした。また、崩壊跡地沿いの河道には3基の砂防堰堤が連続配置されており、崩壊土砂のほとんどが堰堤間に堆積している。

右岸側の斜面崩壊は、標高280m付近の遷急線付近を発生源とし、高さ70m、幅270m、崩壊深4~6m、推定崩壊移動土砂量は、約6万 $m^3$ 程度である(口絵写真-8)。崩壊地斜面の傾斜は約65度の直線型斜面であ

り、基盤地質は溶結凝灰岩や自破碎溶岩である。崩壊堆積物は、直径3~5m程度の巨礫を含む砂礫である。岩塊の大きさは、溶結凝灰岩の節理間隔に支配されている。

また河道閉塞を起こしているが、流水は堆積土内を浸透し、湛水している状況は見られない。左岸側の斜面崩壊も、右岸側と同様に標高260m付近の遷急線付近を発生源とし、大きく6箇所崩壊が発生している。崩壊高さは、25~55m程度、崩壊深2~3mであり、右岸側と比べると崩壊規模は小さい。

3基の砂防堰堤のうち、最下流に位置する練石積堰堤が倒壊・流出しており、堆積土砂の一部が流出した痕跡が確認された。また、下流から2基目に位置する布田川砂防堰堤(昭和61年竣工、コンクリート重力式堰堤)は、右岸側袖部縦目地が10cm程度開いている状況が確認された。

崩壊の上端は、侵食前線と一致し、侵食前線上部には溶結凝灰岩の岩盤と既設堰堤が位置することから、上流側へ崩壊が拡大する可能性は低い。一方、左右岸崩壊斜面背後には、複数の開口亀裂が生じていることから、今後の降雨により崩壊が拡大する可能性が高い。

布田川砂防堰堤等の効果により、河道閉塞区間の土砂が急激に決壊し土石流や泥流、段波状の洪水が発生する恐れは低いものの、崩壊斜面および河道閉塞部からの土砂流出により下流河道沿いの保全対象に影響を受けることがないよう、河道閉塞部下流端に対策の基幹となる砂防堰堤の設置、および崩壊斜面の安定化を図るため山腹工や法面対策工等の恒久対策が必要である。

6.5.3 木山川および布田川沿いの崩壊(図-3のM~P)

西原村および益城町の布田川断層沿いにおいて発生した斜面崩壊のうち、木山川および布田川沿いの河道閉塞を起こした4箇所について、崩壊諸元を表-6に示す。

いずれの箇所も、河川湾曲部の攻撃斜面で、周辺斜面と比較し急勾配の斜面で発生している。また、崩壊高と崩壊幅が、ほぼ同等で、高い斜面ほど崩壊の幅が大きい特徴がある。

いずれの箇所も河道を閉塞してはいるが、対岸へ崩壊土砂が乗り上げた形跡は見られず、閉塞土砂が下流に流出した痕跡も確認されない。また、調査時点でいずれの箇所も緊急的な対応として仮排水路掘削工事が実施済みであり、河道閉塞部の決壊の可能性は低い。一方、斜面

表-6 崩壊地諸元

崩壊箇所	崩壊幅(m)	崩壊深さ(m)	元斜面傾斜(度)	崩壊高さ(m)	推定崩壊土砂量(m <sup>3</sup> )
木山川沿いM	65	2~7	48	60	17,500
布田川沿いN	30	2~5	51	25	500
布田川沿いO	30	4	40	30	5,000
布田川沿いP	40	1~2	50	45	3,000

M~Pの位置は図-3に示す。

上部に開口亀裂が複数見られ、また斜面上にも崩土が残存しており、拡大崩壊や二次移動が生じる可能性がある。伸縮計などの設置による施工時の監視、恒久的な法面対策や渓岸対策が必要である。

7. おわりに

今回の地震では、大規模な崩壊・地すべりも多数発生したが、雨期で地盤内の飽和度がより高かった場合においては、今回より大きな斜面変動現象が発生していた可能性もある。黒ボク斜面では緩勾配の場所においても表土が流動化した場合もあり、今後もそのような場所では、流動化の危険性を念頭に対策を進める必要がある。同時に、ほとんどの崩壊や地すべりの滑落崖上部など周辺斜面に、地震動でできた深さ2m、幅1mに達する無数の亀裂が存在し、これらの一部は今後の崩壊拡大や斜面不安定化の原因となる可能性もあるので、今後の経過観測が必要と思われる。

また、阿蘇地域では、2012年に梅雨末期の豪雨により崩壊や土石流が多発した経緯があり、その際は崖錐部も崩壊している(久保田ら, 2012)。また、この地域の黒ボクや軽石など火山堆積物層は地震動の攪乱により強度が低下する試験結果も報告されており、この地震で攪乱され緩んだ斜面が、今後の大雨でどのような挙動を示すか嚴重な注意を払うことが必要と思われる。また、二次災害に対する対応を適確に行う必要がある。

謝 辞

国土交通省の皆様には、データ・資料・情報の提供並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、利用した航空レーザ計測データは、地震前は国土交通省九州地方整備局、地震後はアジア航測株式会社(6.1)および国際航業株式会社(6.2~6.4)によって計測されたものである。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

国土交通省国土地理院(2016):平成28年熊本地震・空から見た(航空写真判読による)土砂崩壊地分布・KMLファイル, <http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H27-kumamoto-earthquake-index.html>, 参照2016-06-10  
 久保田哲也・地頭蘭隆・清水収・平川泰之・本田健・飯島康夫・泉山寛明・海堀正博・北原哲郎・小林浩・松本俊雄・松尾新二郎・松澤真・宮縁育夫・長野英次・中濃耕司・奥山悠木・島田徹・篠原慶規・杉原成満・武澤永純・田中信・内田太郎(2012):平成24年7月九州北部豪雨による阿蘇地域の土砂災害, 砂防学会誌, Vol. 65, No. 4, p. 50-61  
 内閣府非常災害対策本部(2016):熊本県熊本地方を震源とする地震に係る被害状況等について, [http://www.bousai.go.jp/updates/h280414\\_jishin/index.html](http://www.bousai.go.jp/updates/h280414_jishin/index.html), 参照2016-06-08  
 通商産業省工業技術院地質調査所(1985):阿蘇火山地質図  
 (Received 9 July 2016; Accepted 2 August 2016)