

※以降のページは、下記図書の抜粋である。
抜粋ページ：58～117ページ

地震被害調査シリーズ NO.1
2016年熊本地震被害調査報告書

平成29年12月15日 第1版・第1刷発行

編集者 公益社団法人 土木学会
地震工学委員会 委員長 澤田 純男
地震工学委員会 2016年熊本地震による被害調査・分析小委員会
委員長 池田 隆明

発行者 公益社団法人 土木学会 専務理事 塚田 幸広

執筆者

3.1 斜面の被害

3.1.1 斜面災害発生地の特徴

阪口 和之（アジア航測株式会社 コンサルタント事業部），

ハス バートル（アジア航測株式会社 グローバル戦略室）

3.1.2 降雨，地震活動等の状況

松木 宏彰（復建調査設計株式会社 地盤環境部）

3.1.3 主な被災地区の崩壊状況

片山 直樹（株式会社日本海技術コンサルタンツ 調査部）

平田 文（日特建設株式会社 札幌支店）

伊藤 和也（東京都市大学 工学部 都市工学科）

向谷 光彦（香川高等専門学校 建設環境工学科）

原 重守（株式会社古川コンサルタント 地質部）

衛藤 智徳（日鐵住金建材株式会社 防災・鉄構商品部）

中濃 耕司（東亜コンサルタント株式会社 熊本支店）

西川 直志（株式会社イシンコンサルタント 技術部）

吉川 修一（八千代エンジニアリング株式会社 総合事業本部 地質・地盤部）

大野 博之（株式会社環境地質 技術部）

第3章 地盤の被害

3.1 斜面の被害

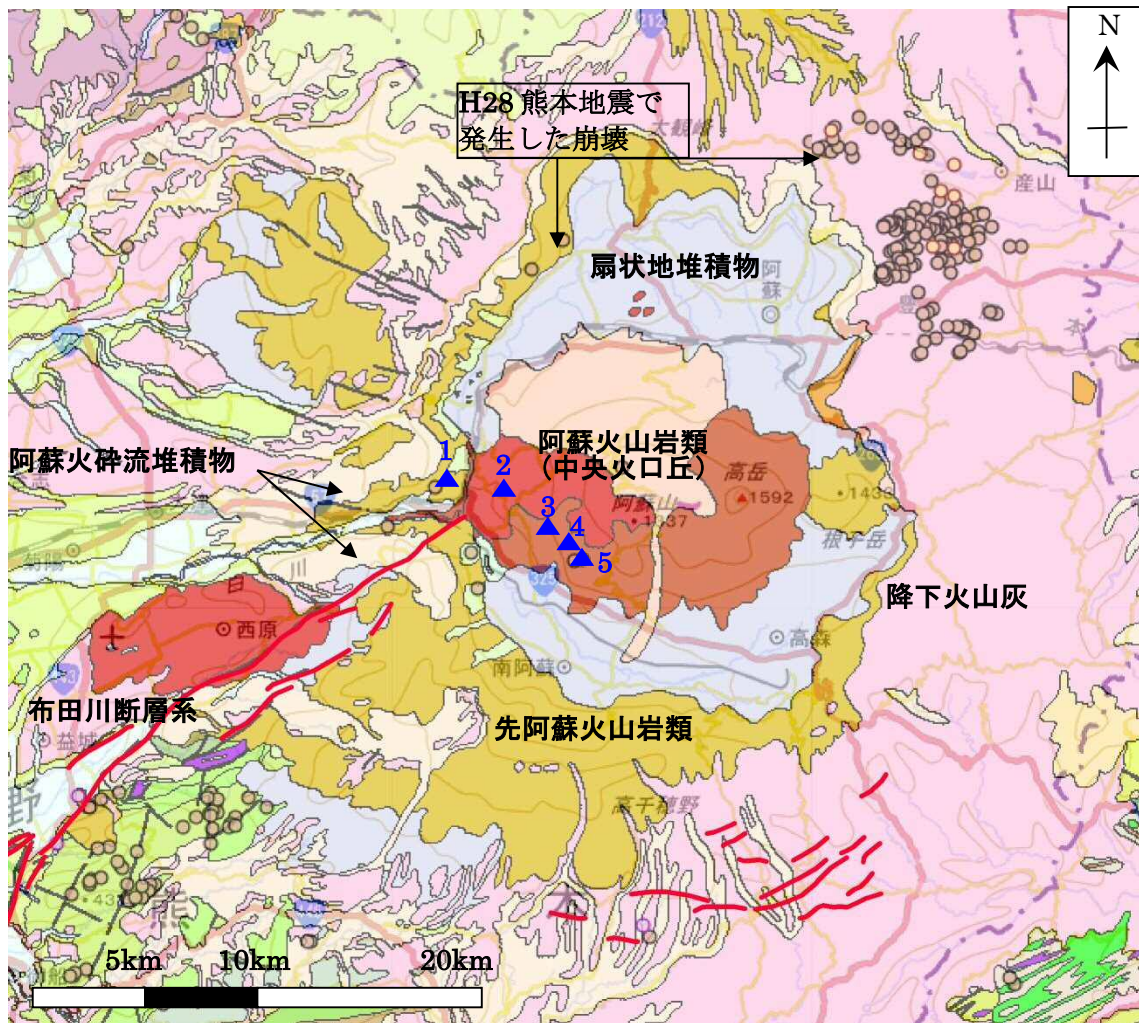
3.1.1 斜面災害発生地の特徴

(1) 地質及び地質構造

平成28年熊本地震においては阿蘇火山周辺で多くの斜面崩壊が発生した。

図3.1-1は阿蘇火山及び周辺の地質に今回の地震で発生した崩壊地と布田川断層帯、今回の調査地点を付加した図である。

崩壊は降下火山灰層で小規模なものが数多く見られるが、外輪山やカルデラ内部では規模が大きなものも点在している。本項では阿蘇火山の地質、平成28年熊本地震で発生した崩壊箇所の地質状況、および阿蘇火山を含めた広域な地質構造について概説する。



図中▲が今回の調査地 1：立野地区 2：高野台地区 3：火の鳥温泉 4：山王谷川
5：垂玉温泉

図 3.1-1 阿蘇火山及び周辺の地質図（産総研；地質図 NAVI に加筆）

※この報告書は、下記図書の抜粋である。
 書名：地震被害調査シリーズNo.1 2016年熊本地震被害調査報告書
 編集者：公益社団法人土木学会 地震工学委員会 委員長 澤田 純男
 地震工学委員会 2016年熊本地震による被害調査・分析小委員会 委員長 池田 隆明
 発行者：公益社団法人 土木学会 専務理事 塚田 幸広
 発行年：平成29年
 著者（執筆者）：前ページ参照
 抜粋ページ：58～117ページ

(2) 崩壊斜面の地質状況

図 3.1-1 に国土地理院が写真より判読した崩壊地、および調査を実施した崩壊地を示した。

崩壊地はカルデラ壁およびその周辺域と布田川断層に沿った地域、カルデラ東縁域で多く認められる。この中の布田川断層に沿った地域の崩壊は後期白亜紀の非海性泥岩層で発生し、カルデラ東縁域の崩壊は後期更新世の火砕流・降下軽石層で発生している。

カルデラ壁およびその周辺域の崩壊は形成時期が異なる火山岩類の境界で発生しており、その規模は大きいものが多い。例えば、調査地 1 立野地区では先阿蘇火山岩類と阿蘇火砕流堆積物の境界付近で、調査地 3 火の鳥温泉・調査地 4 山王谷川・調査地 5 垂玉温泉では阿蘇火山岩類（中央火口丘）の異なる火山岩境界付近で崩壊が発生している状況が見られた。調査地 2 高野台は図中では境界付近ではないが、現地で異なる火山岩類境界ですべり面が形成されている状況を認める事ができた。

(3) 阿蘇火山の形成史

阿蘇火山は南北 25km・東西 18km のカルデラ内に現在も噴火活動が続く阿蘇五岳と呼ばれる中央火口丘群が鎮座するカルデラ火山である。中央火口丘群はほぼ東西に配列し、カルデラを北の阿蘇谷と南の南郷谷に区分する。カルデラ壁の西端の立野にはカルデラ壁を切る峡谷がある。

阿蘇火山の形成史を表 3.1-1 に示す。

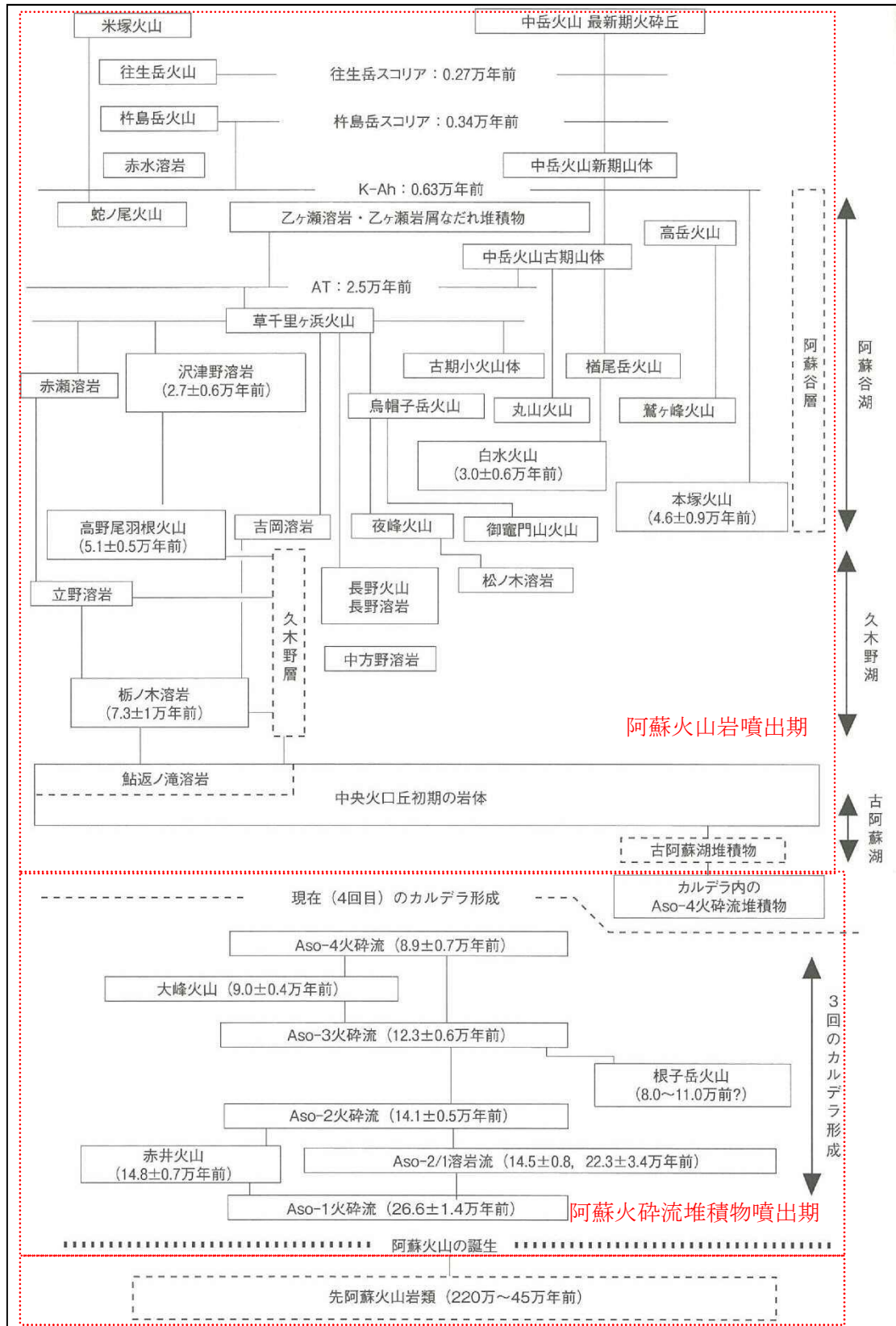
阿蘇火山はカルデラ形成前後で区分されている。カルデラ形成前噴出した火山岩類を先阿蘇火山岩類と呼ばれ、形成後に噴出した火山岩類を阿蘇火山岩類・阿蘇火砕流堆積物にまとめられている。先阿蘇火山岩類は現在より約 220 万～45 万年前に活動した輝石・角閃閃安山岩質、および流紋岩質の火山岩類である。溶岩と火砕岩よりなりカルデラ外輪山を形成する。

カルデラは現在より約 30 万年前から形成され始め、4 回の大規模な阿蘇火砕流を噴出しつつ順次規模を拡大して行った。これら火砕流は現在 ASO-1～ASO-4 火砕流堆積物として外輪山頂部から西麓にかけて分布している。

阿蘇火山岩類をなす中央火口丘群は現在より約 8 万年前から形成され始め、多くの火山活動を経て、現在より約 1 万年前から現在の形状に至っている。阿蘇火山岩類の岩質は玄武岩質（米塚ほか）～安山岩質（中岳ほか）～流紋岩質（草千里ヶ浜ほか）と多岐にわたるが、この多様化は各火山の下に小型のマグマ溜りが独立して存在するためと考えられている¹⁾。

カルデラ内はこれまで少なくとも 3 回以上湖沼化している。カルデラ内平地部には、その際の湖沼性堆積物が、またカルデラ壁・中央火口丘群からの扇状地性堆積物が厚く埋積している。湖沼堆積物は阿蘇市片隅で約 320m、南郷谷の白川右岸で約 800m 以上確認されており、南側に厚い傾向が認められている。

表 3.1-1 阿蘇火山形成史（日本地質学会，日本地方地質誌 8 九州・沖縄地方，2010 に加筆）



(4) 地質構造

阿蘇火山は図 3.1-2 に示す別府-島原地溝帯と呼ばれる地溝状の地質構造を有する地域にある。地溝帯には西側の雲仙断層群（図中①）、東側の別府-万年山断層系（図中②）、南側の布田川断層帯（図中③）・日奈久断層帯（図中④）など東西方向の活断層帯が発達しており、右ずれをともなう活発な地震活動が認められる。

平成 28 年 4 月 16 日に布田川断層の活動により M7.3 の地震が発生した。その際に横ずれながら 70cm の隆起崖が発生したが、この断層崖を益城町が町文化財に指定した。

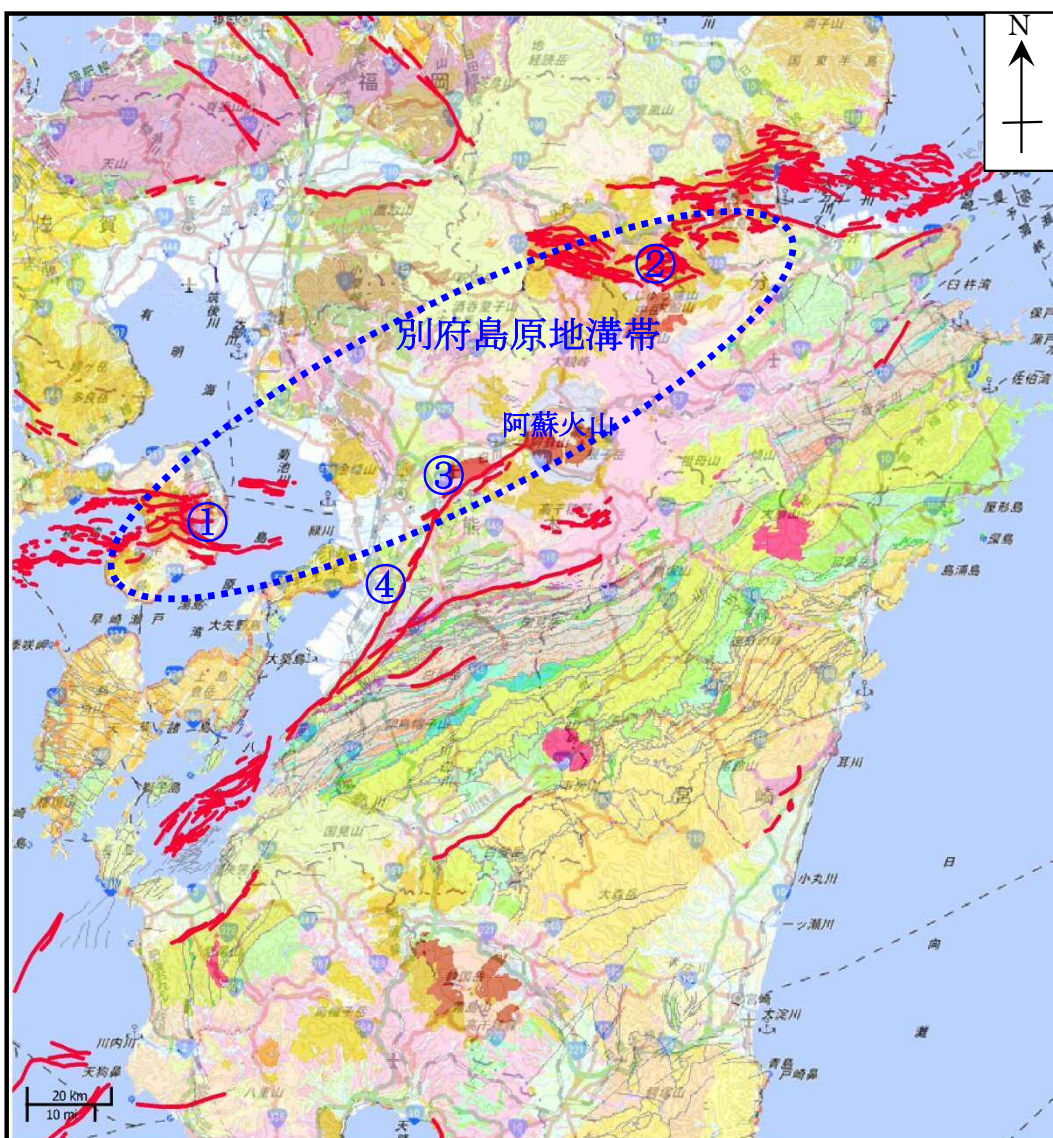


図 3.1-2 阿蘇火山・別府島原地溝帯と周辺の活断層群（産総研；地質図 NAVI に加筆）

(5) 地形的特徴

平成 28 年熊本地震は、4 月 14 日の M6.5 の地震をはじめとする一連の強い地震によって数多くの土砂災害が発生し、震源域やその周辺で甚大な被害をもたらした。今回の一連の強い地震は、これまでに知られていた活断層である布田川断層帯と日奈久断層帯²⁾で発生したとされる^{3),4)}。

(6) 震源域の地形概要および崩壊の分布

今回の地震の震源断層のひとつとされる日奈久断層帯は、その東側の標高 1,200-1,300m の九州山地や丘陵地帯とその西側の熊本平野の境界にあたる。本断層帯は八代海南部から北東方向に伸び、阿蘇山にいたる。一方、布田川断層帯は、宇土半島の先端から北東方向に伸び、阿蘇外輪山の西側斜面にいたる活断層帯である。この二つの断層帯が、その北西部が日奈久断層帯の北東部と合流している。

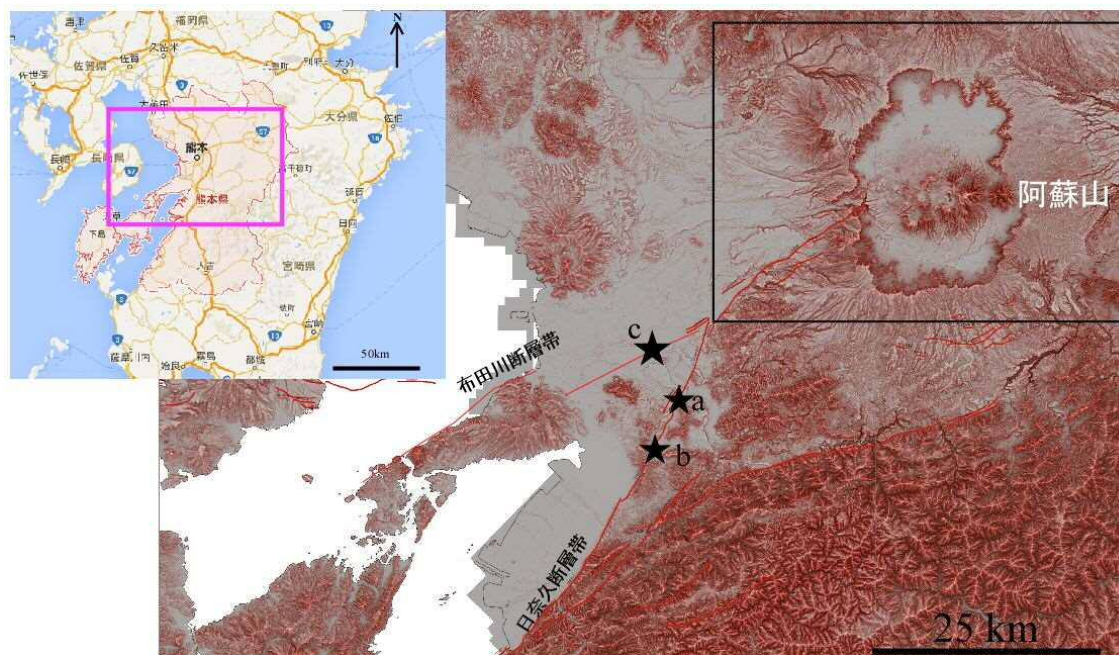


図 3.1-3 熊本地震震源域とその周辺の地形

(赤色立体地図は国土地理院 5m+10m メッシュ DEM を用いて作成)

a) 4 月 14 日の M6.4 地震; b) 4 月 15 日の M6.5 地震; c) 4 月 16 日 M7.3 地震.

★は震央を示す。赤い線は活断層。

(国土地理院の都市圏活断層図および地震調査研究推進本部²⁾)

(7) 崩壊発生地の地形的特徴

図 3.1-3 の実線の枠に国土地理院⁵⁾の判読結果で確認された崩壊集中範囲を示した。これによると、今回の地震によって発生した多くの崩壊は、阿蘇山のカルデラとその周辺で発生した。これらの崩壊は、震央からおよそ数 km から数十 km の範囲内で分布し、震源断層からはおよそ 25km の範囲内に集中している。

崩壊が多く発生したこの範囲の地形は、阿蘇火山中央火山丘群（北東から南にかけて急斜面、南東から北側ではややゆるい斜面を呈す）、外輪山内壁の急勾配斜面、外輪山内壁外壁のややゆるい斜面に特徴付けられる。今回調査を実施した箇所のお多くは阿蘇山中央火山丘群の南東側斜面で発生した（図 3.1-4）。

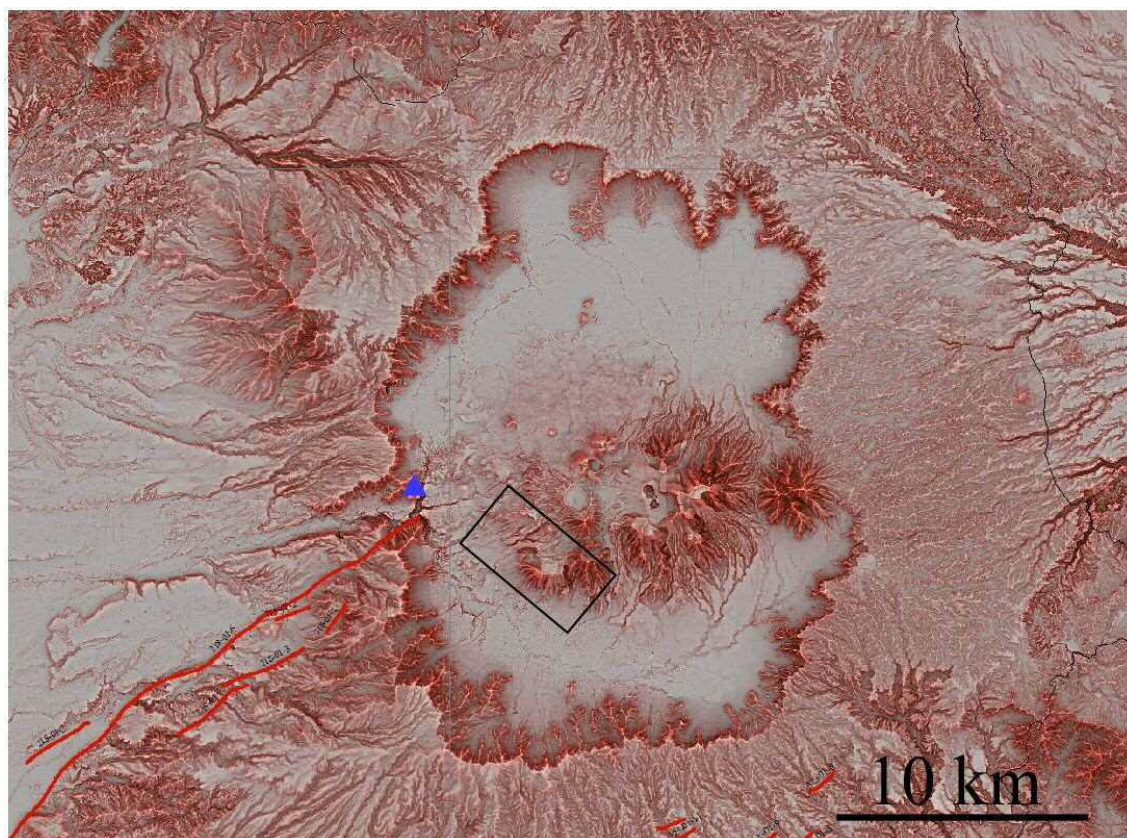


図 3.1-4 崩壊が集中して発生した地域の赤色立体地図
(国土地理院 5m+10m メッシュ DEM を用いて作成)

▲阿蘇大橋；四角の中：立野地区，高野台地区，火の鳥温泉，山王谷川，垂玉温泉

3.1.2 降雨，地震活動等の状況

熊本地震では，度重なる地震によって，斜面などは不安定化し，豪雨などの誘因が重なることで斜面崩壊や地すべりおよび土石流などの土砂災害が起きやすい状況になっている。

まず斜面災害を引き起こす契機となった地震の状況について，気象庁のデータをもとに引用する。

(1)地震活動の状況

熊本周辺の活発な活動としては，4月14日21時26分にM6.5で最大震度7の地震が発生した。その後4月16日の深夜1時25分にM7.3で最大震度7のさらに規模の大きな地震が発生した。図3.1-5に地震の震源および発震機構の図を示す。

その後これらの地震に関連して，余震が継続して発生し，気象庁の記録によれば震度1以上の地震の発生回数は，一か月間で1,500回以上に達し，その後次第に規模は縮小し，回数も減少しつつも現在も活動している。図3.1-6に熊本県から大分県周辺部にかけての地震活動の活動状況を示す。これによれば熊本市南部の日奈久断層帯，布田川断層帯周辺から南阿蘇村付近に集中していることがうかがえる。

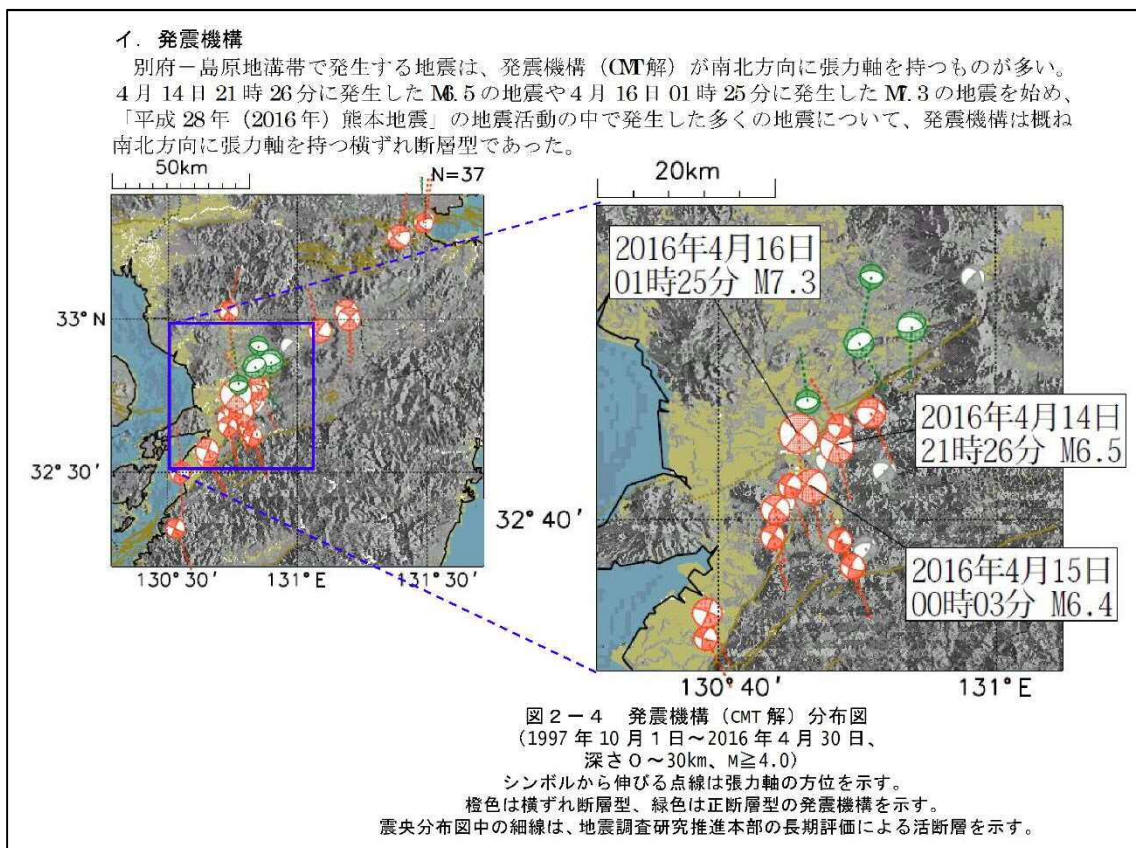


図3.1-5 発震機構の分布図(気象庁ホームページより)

「平成28年（2016年）熊本地震」
 熊本県から大分県にかけての地震活動の状況（7月1日13時30分現在）
 震央分布図

（2016年4月14日21時00分～7月1日13時30分、マグニチュード2.0以上、深さ0～20km）

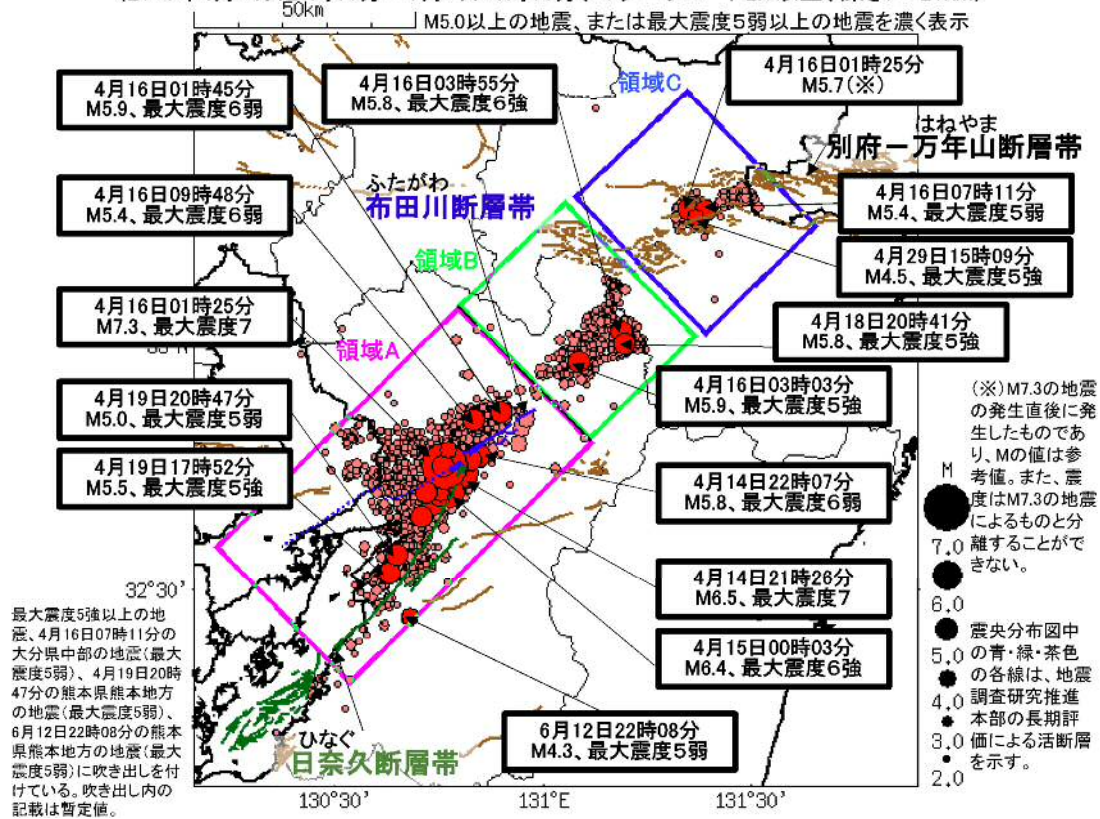


図 3.1-6 地震活動の状況（気象庁ホームページより）

(2) 降雨の状況

熊本周辺には、複数のアメダス観測所があるが、今回は調査地点の中央付近に位置する益城町のデータを代表例として取り上げた。図 3.1-7 に 4 月と 5 月の降雨の状況を気象庁のアメダス(観測所：益城)のデータ(表 3.1-2) から、日雨量と累積雨量をグラフにまとめた。

観測データによれば、本震発生翌日の 4 月 17 日に 21.5mm の降雨があり、4 月 21 日には 89mm の日雨量を記録しており、これはこの期間の中では最大の日雨量である。

なお熊本地震発生前の雨量としては、4 月 7 日に 56mm のややまとまった日雨量を記録している。その後 4 月 15 日までは、降水量はわずかであった。

表 3.1-2 4 月と 5 月の日雨量と累積雨量 (気象庁アメダス観測所:益城)

日付	日雨量	累積雨量	日付	日雨量	累積雨量
2016/4/1	0.5	0.5	2016/5/1	0	222.5
2016/4/2	0	0.5	2016/5/2	0	222.5
2016/4/3	2	2.5	2016/5/3	34.5	257
2016/4/4	15	17.5	2016/5/4	0	257
2016/4/5	0	17.5	2016/5/5	0	257
2016/4/6	3	20.5	2016/5/6	15.5	272.5
2016/4/7	56	76.5	2016/5/7	2	274.5
2016/4/8	0	76.5	2016/5/8	10.5	285
2016/4/9	0	76.5	2016/5/9	16	301
2016/4/10	0	76.5	2016/5/10	62	363
2016/4/11	0	76.5	2016/5/11	8	371
2016/4/12	0	76.5	2016/5/12	0	371
2016/4/13	1	77.5	2016/5/13	0	371
2016/4/14	0	77.5	2016/5/14	0	371
2016/4/15	0	77.5	2016/5/15	0	371
2016/4/16	3	80.5	2016/5/16	50	421
2016/4/17	21.5	102	2016/5/17	0	421
2016/4/18	0	102	2016/5/18	0	421
2016/4/19	0	102	2016/5/19	0	421
2016/4/20	0	102	2016/5/20	0	421
2016/4/21	89	191	2016/5/21	0	421
2016/4/22	0	191	2016/5/22	0	421
2016/4/23	4.5	195.5	2016/5/23	0	421
2016/4/24	2	197.5	2016/5/24	0.5	421.5
2016/4/25	3	200.5	2016/5/25	17	438.5
2016/4/26	1	201.5	2016/5/26	0	438.5
2016/4/27	11.5	213	2016/5/27	0	438.5
2016/4/28	9.5	222.5	2016/5/28	20	458.5
2016/4/29	0	222.5	2016/5/29	51	509.5
2016/4/30	0	222.5	2016/5/30	1	510.5
			2016/5/31	0	510.5
雨量単位: mm					

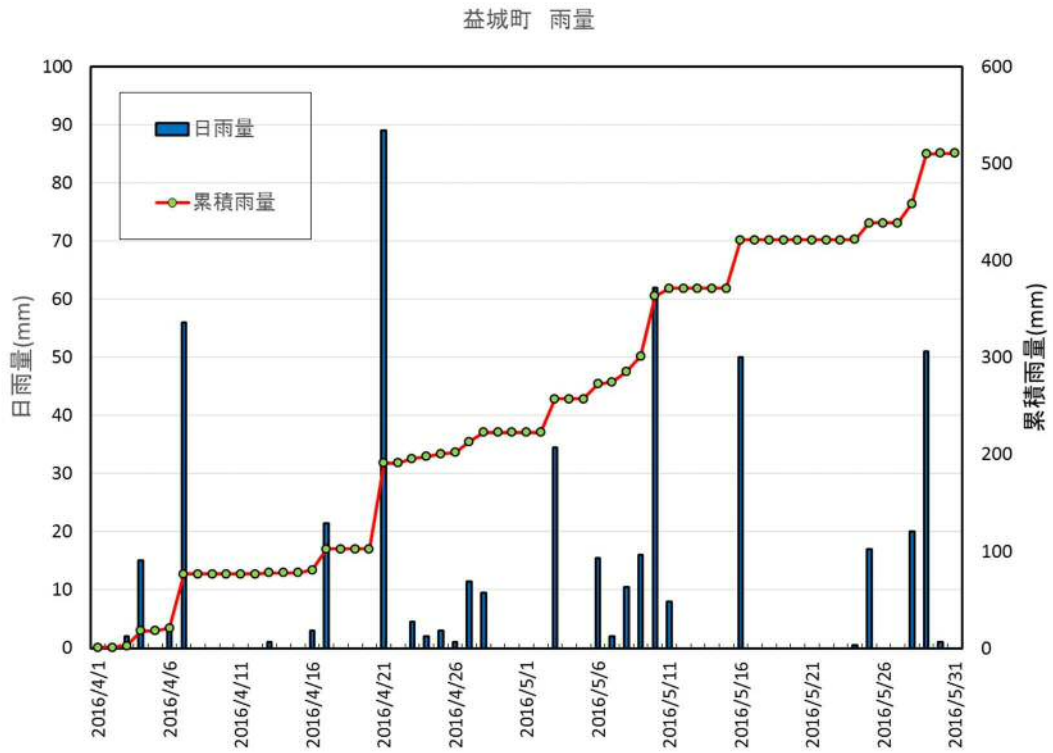


図 3.1-7 4 月から 5 月の日雨量と累積雨量(気象庁アメダス観測所：益城)

3.1.3 主な被災地区の崩壊状況

(1) 阿蘇大橋付近の大規模崩壊

1) 崩壊および被害概況

4月16日未明の本震(M7.3)により、阿蘇郡南阿蘇村立野の東向き斜面にて、山頂(標高755.8m)付近を頭部とする大規模崩壊が発生した(図3.1-8の①)。

大規模崩壊の全景として、4月16日に取得された航空写真ならびに航空レーザー測量による赤色立体地図を図3.1-8に示す。なお、赤色立体地図には後述文に関連する注記と、崩壊範囲および付近で確認された地表地震断層位置を記入している。

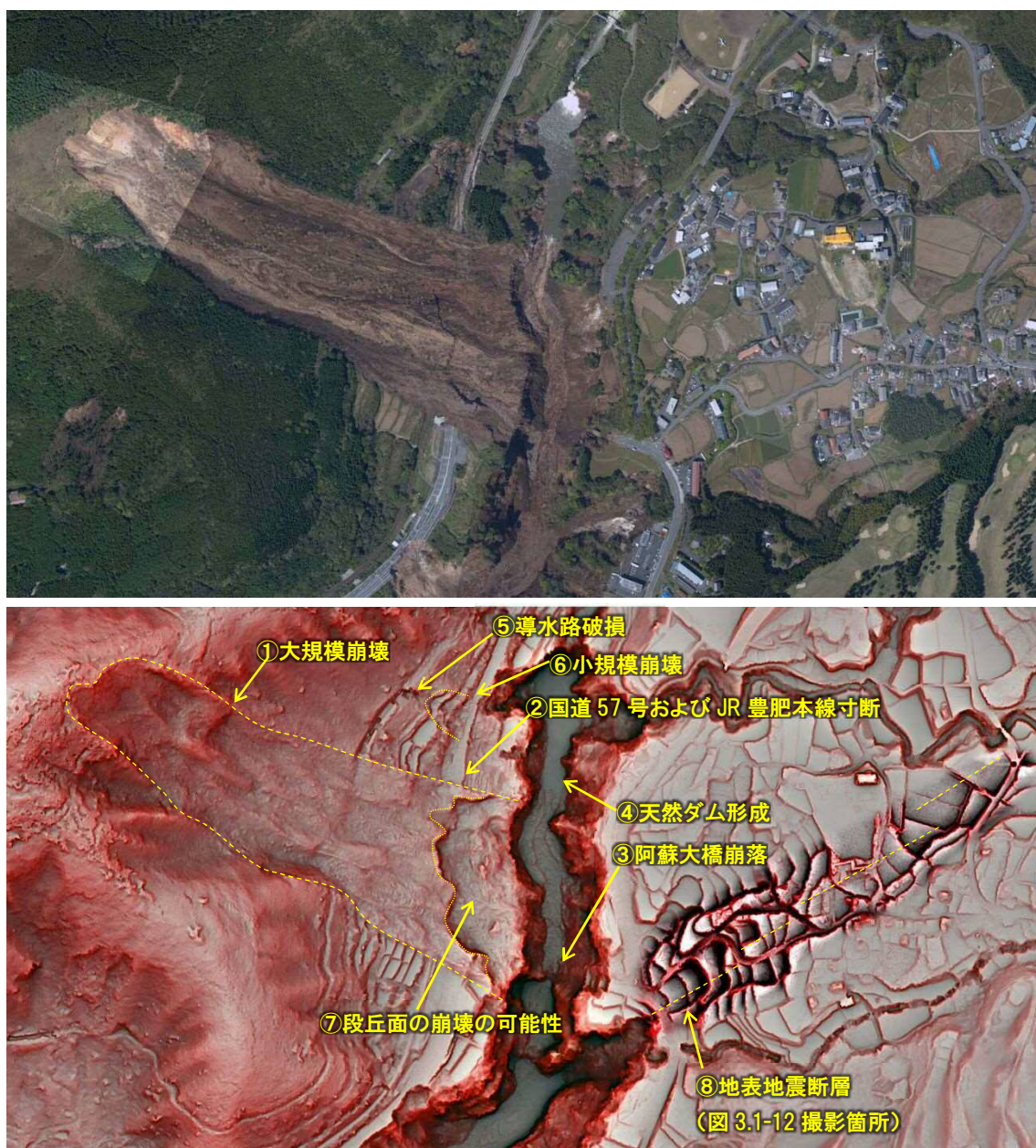


図3.1-8 上段：航空写真，下段：航空レーザー計測結果による赤色立体地図 6)に加筆

崩壊規模は、幅約 200m、斜面長約 700m、崩壊深は最大で 20m 程度にのぼり、崩壊土砂量は約 54 万 m^3 と推測される⁷⁾。

この崩壊により、斜面下方を南北に走る JR 豊肥本線、国道 57 号はいずれも寸断され（図 3.1-8 の②）、阿蘇大橋（橋長 205.96m、1970 年完成）は落橋に至った（図 3.1-8 の③、図 3.1-9）。

崩壊土砂の大半は、斜面下方を南流する黒川（一級水系白川支流）に流入し、一時河川を堰き止めることとなり、上流側に小規模な天然ダムが形成された（図 3.1-8 の④）。

さらに、大規模崩壊斜面の下部遷緩線に沿うように設置されていた導水路（九州電力黒川第一発電所のヘッドタンクへ用水を導く水路）も、この崩壊により寸断され、一時用水が斜面下方に大量に溢れ出す状況となり、小規模崩壊を誘発した可能性が考えられる（図 3.1-8 の⑤⑥）。

図 3.1-8 の①大規模崩壊ブロック内の微地形として、小規模な凹凸や土砂の流動痕跡が容易に判読できることから、大規模崩壊は複数の小～中規模崩壊が連続的に発生した結果である可能性も考えられる。また、図 3.1-8 の⑦に示す段丘面は、周囲の崩壊土砂より 1 段下がった状況であり、大規模崩壊の末端に生じた 2 次的な崩壊の影響によるものと考えられる。



図 3.1-9 左：阿蘇大橋の落橋箇所，右：導水路の破損・漏水箇所

阿蘇大橋は図 3.1-10 に示すように上路アーチ橋である。対岸目視調査より、両岸に残された橋脚や橋台、アーチアバットは存在すると考えられることから(図 3.1-11)、阿蘇大橋の落橋原因として下部工の破損や流失が原因ではなく、地震動あるいは崩壊土砂の影響が大きかったものと推察される。

被災直後の報道写真などを見ると、落橋した阿蘇大橋東詰め(左岸側)のアスファルト上に褐色の崩壊土砂の堆積が確認できることから、斜面崩壊の発生初期には、崩壊土砂が橋の上を流れ対岸に至ったものと考えられるが、写真で確認する限りその量は少なく、続く崩壊土砂の影響により、早期に落橋するに至ったものと推測される。

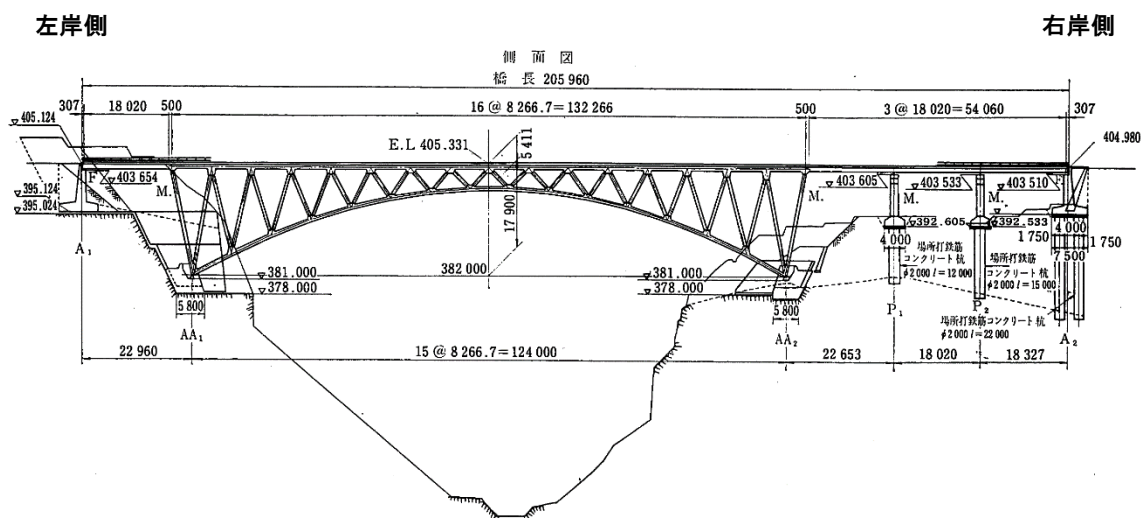


図 3.1-10 阿蘇大橋の構造 8)に加筆



図 3.1-11 左：左岸側橋台とアーチアバット，右：右岸側橋脚とアーチアバット

一方、大規模崩壊斜面の対岸（左岸側）の河陽地区においては、複数の地表地震断層が認められた（図 3.1-8⑧，図 3.1-12）。これらの断層は、北東－南西方向（概ね N60°E）に約 700m にわたり分布することが確認でき、断層直上や周辺部での建造物の被害が顕著であった。なお、この地表地震断層は、後述する布田川断層帯の延長線上にあり、その東端部に位置する。

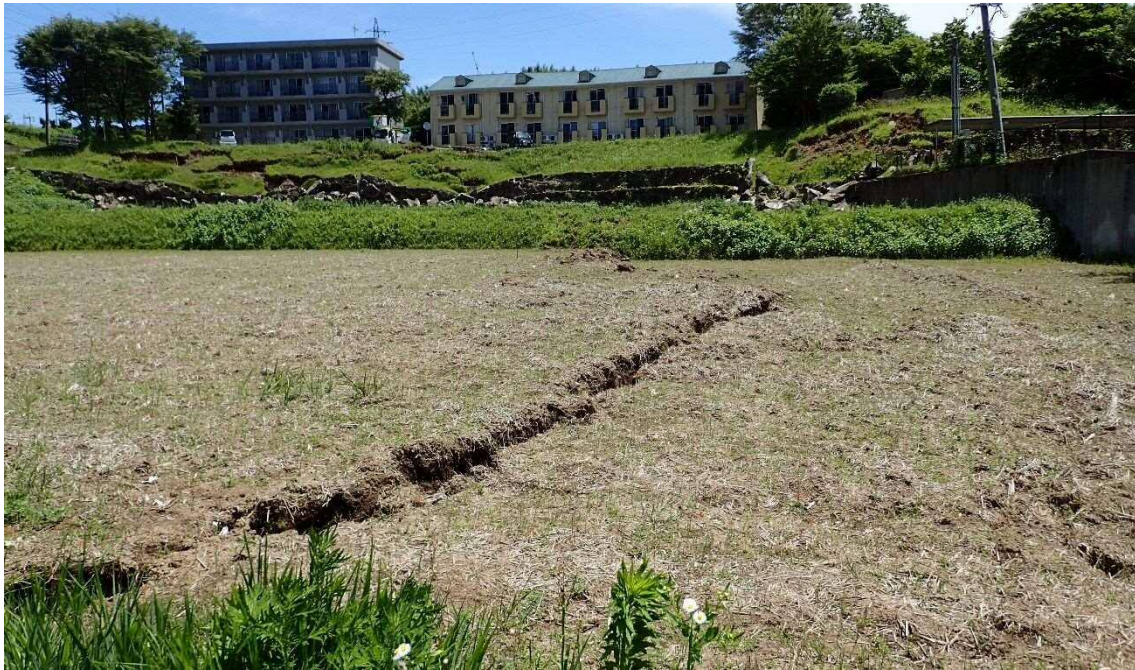
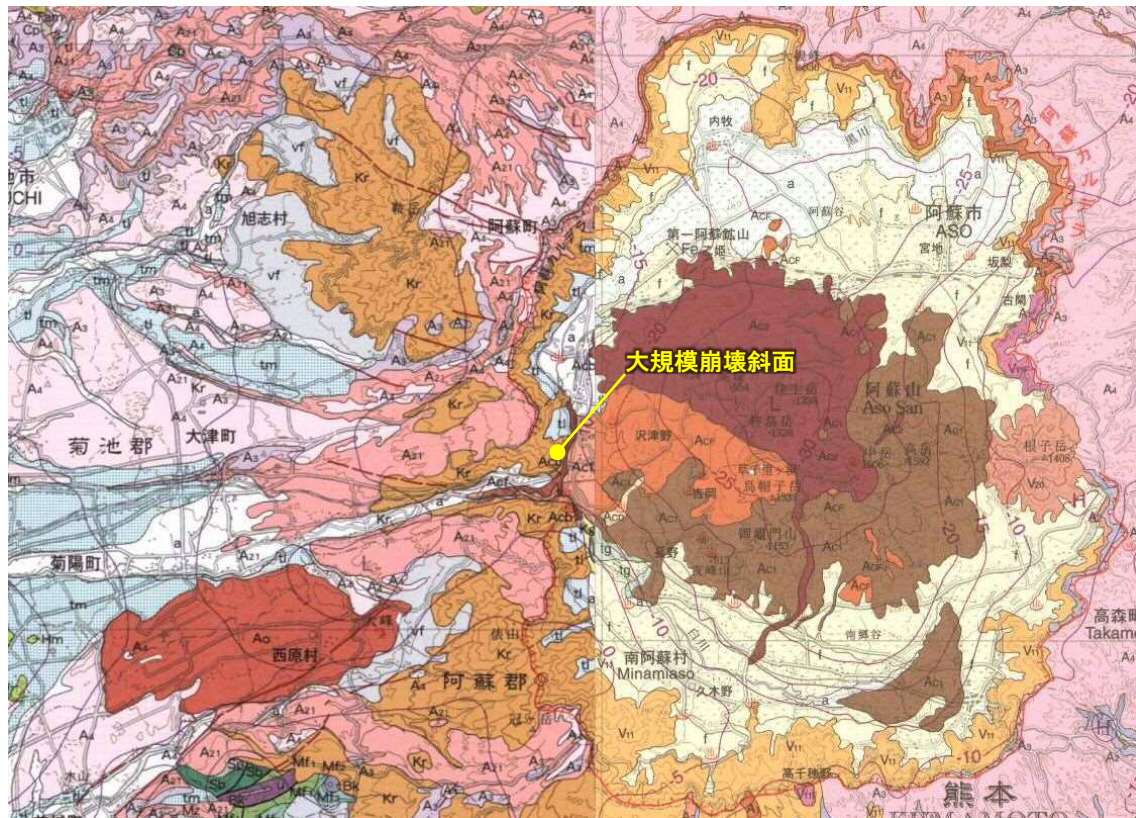


図 3.1-12 河陽地区に認められた地表地震断層

2) 地質分布

崩壊斜面周辺の地質は、先阿蘇火山岩類および塔ノ坂安山岩の溶岩および火砕岩 (Kr) が大規模崩壊斜面の山体をなしており、黒川により下刻された段丘崖～河床にかけて阿蘇火山中央火口丘群を構成する玄武岩-安山岩溶岩および火砕岩 (Acb), デイサイト-流紋岩溶岩および火砕岩 (Acf) が分布するとされる (図 3.1-13)。



低位段丘堆積物 Lower terrace deposits	ti	礫、砂及び泥 Gravel, sand and mud	
先阿蘇火山岩類及び塔ノ坂安山岩 Pre-Aso Volcanic Rocks and Tonosaka Andesite	Kr	安山岩溶岩及び火砕岩 Andesite lava and pyroclastic rocks	
阿蘇火山 Aso volcano	阿蘇-1及び阿蘇-2火砕流堆積物 Aso-1 and Aso-2 Pyroclastic Flow Deposits	A21	角閃石デイサイト-安山岩溶結凝灰岩、及び非溶結のガラス火山灰、スコリア及び軽石 Hornblende dacite to andesite welded tuff and non-welded deposit of vitric ash, scoria and pumice
		中央火口丘群 Central cones	Acf
	Acb	玄武岩-安山岩溶岩及び火砕岩 Basalt to andesite lava and pyroclastic rocks	

図 3.1-13 阿蘇山周辺の地質図 9), 10)に加筆

一方、大規模崩壊ブロックの左側部付近の小規模崩壊（図 3.1-8⑥）において、頭部滑落崖に黒ボク層が2枚と、それに挟まれるように安山岩角礫を多く含み火山灰質土をマトリクスとする崖錐堆積物層が1m程度認められた（図 3.1-15）。

導水管に沿う遷緩線下方には、傾斜15°程度の緩斜面が広がり崖錐の堆積域と考えられ、滑落崖で確認された堆積物の状況とも整合する。

黒ボク層が数枚挟在すると考えられるが、崖錐堆積物との境界面は流れ盤である可能性が高く、緩斜面とはいえ、地下水位上昇や地震動などの誘因により、境界面に沿って滑動あるいは崩壊しやすい素因を有しているものと推察される。



図 3.1-15 小規模崩壊の頭部滑落崖

また、黒川の下方浸食（下刻）に伴い形成された段丘崖にも、表層崩壊の痕跡が認められ、表層地質が露頭する（図 3.1-16）。



図 3.1-16 黒川の下刻による段丘崖

接近できず岩種判定は行えていないが、上位より湖成堆積物、安山岩ないしデイサイト溶岩、火砕岩の3層が存在するものと推察される（図 3.1-17、図 3.1-18）。



図 3.1-17 左：段丘崖に見られる層序，右：湖成堆積物の堆積構造



図 3.1-18 段丘崖に見られる層序（阿蘇大橋付近）

3) 地形と活断層の関係

大規模崩壊斜面は、阿蘇カルデラを取り囲む外輪山のカルデラ壁側の斜面であり、阿蘇カルデラ唯一のカルデラ瀬（火口瀬）である「立野火口瀬」の東端に面した東向き斜面である。

立野火口瀬は、中央火口丘群のほぼ真西に位置し、外輪山を切るように東西方向に走る谷地形である（図 3.1-19）。

このため、国道 57 号や JR 豊肥本線などの主要幹線が、この火口瀬の両端で集合し、谷地形に形成された台地上を通過しており、交通の要衝となっている。また、阿蘇カルデラ内の環状水系である「黒川」と「白川」は、立野火口瀬東端で合流し、火口瀬に沿ってカルデラ外に流出する。



図 3.1-19 阿蘇カルデラと立野火口瀬¹¹⁾に加筆

このように、阿蘇カルデラの内外を結ぶ重要な地形をなす立野火口瀬は、その成因を、神話では阿蘇大明神「たけいわたつのみこと健磐龍命」が蹴破った跡であると伝えられるが、地質学においては活断層の影響によるものと考えられている。立野火口瀬付近を通過する活断層は、北向山断層などを含む布田川断層帯が北東－南西方向に存在することが確認されており、この断層帯の活動により火口瀬が形成されたと考えられている¹²⁾。

4) 崩壊要因の推定

大規模崩壊が発生した斜面は、布田川断層帯に含まれる活断層の一つ「北向山断層」の東端付近に位置している（図 3.1-20）。また、本崩壊が発生した斜面の北西には、北向山断層とほぼ平行する明瞭なリニアメントがあり、ここにも断層が存在する可能性が推定される。このため、崩壊斜面を含む山体が2本の断層に挟まれた位置に存在することから、過去の断層運動により大きくダメージを受けていた可能性が指摘される。

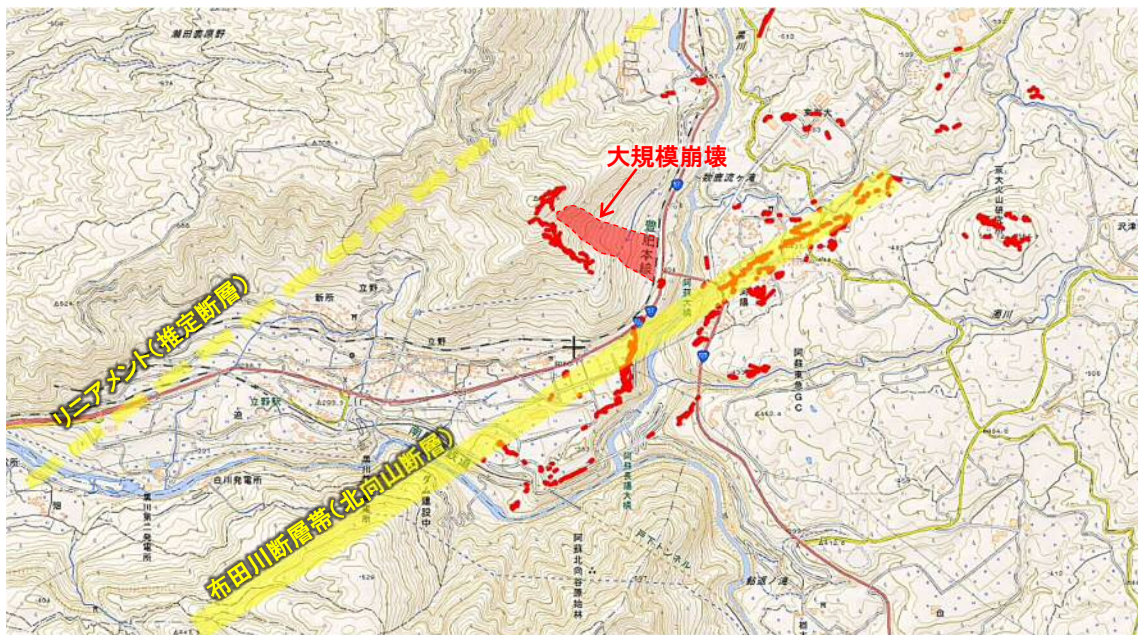


図 3.1-20 大規模崩壊周辺の地形および断層¹³⁾に加筆
 ※赤線は布田川断層帯周辺で発生した地表の亀裂を表す

また、合成開口レーダー（PALSAR-2）のデータ解析により、布田川断層帯より北側では北向き（赤範囲）に変位が生じ、一方南側では南向き（青範囲）に変位が生じていることがわかった（図 3.1-21）。この解析結果より、大規模崩壊は変位方向が大きく変化する境界付近に位置しており、水平変位量が 1m 程度と大きい場所に位置していたといえる。

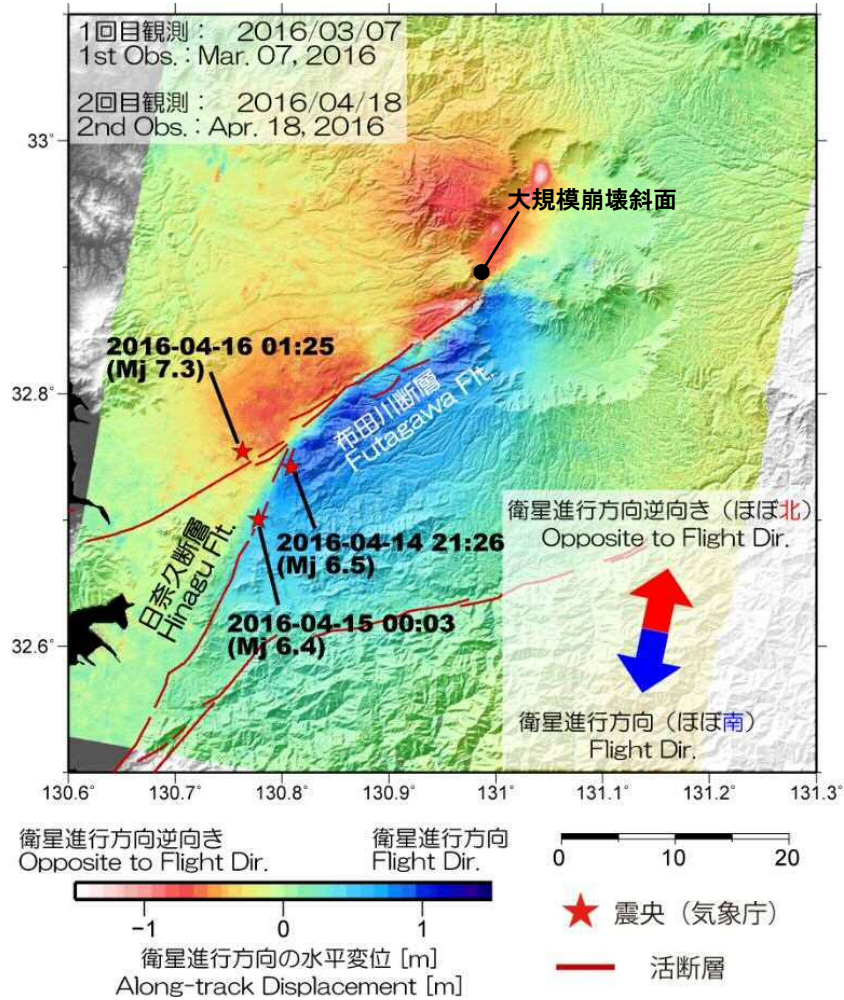


図 3.1-21 布田川断層帯近傍の地殻変動量¹⁴⁾に加筆

過去の地形的特徴を把握する目的で、大規模崩壊斜面について、阿蘇大橋が架かる前の1956年撮影の航空写真を判読したところ、斜面上部には尾根線付近から複数の浸食谷が形成されており、浸食耐性の低い地質であったことがうかがえる。このことは、前述のとおり、大規模崩壊斜面が主に安山岩質凝灰岩（おそらく固結度の低い凝灰岩）が大半を占めると推察されることと整合する。

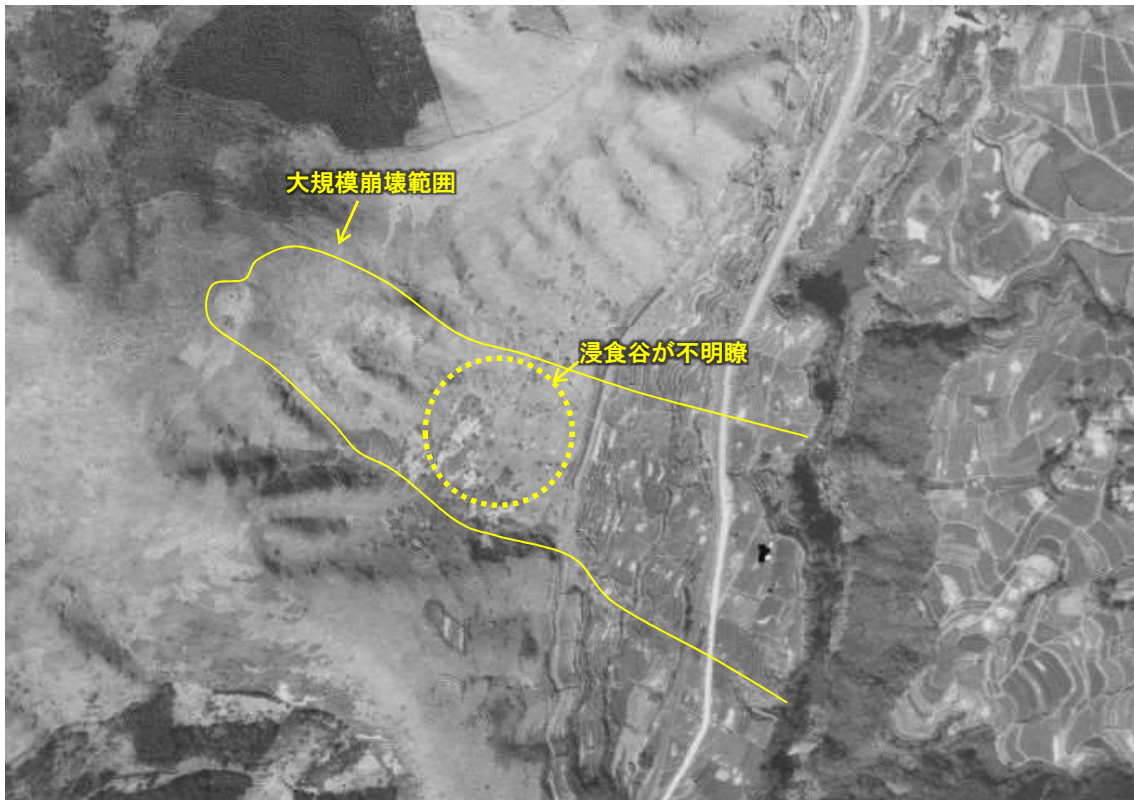


図 3.1-22 崩壊斜面周辺の航空写真（1956年米軍撮影）¹⁵⁾に加筆

一方この浸食谷は、大規模崩壊範囲においては、尾根頂部から斜面下方に向かい浸食深さが徐々に浅くなり、斜面中腹部(導水路のある遷緩線より上部;図 3.1-22 マル囲み範囲)では不明瞭となる傾向が認められた。このことは、斜面中腹の地盤透水性が高く、表流水による浸食が生じ難かったことを意味するものと推察される。すなわち、崩壊斜面中腹部では、表層が緩んでおり、表流水が地中に浸透しやすい性状にあり、斜面崩壊リスクが高かった箇所であった可能性がある。このことは、当該崩壊が、一般に地震動に弱い凸型の尾根地形ではなく、凹型の谷地形で発生したこと関連する事項と思われる。

また、小規模崩壊(図 3.1-8⑥)の滑落崖には多くのパイピング痕(図 3.1-23)が観察でき、上部斜面からパイプフローとして恒常的に地下水が供給されていたであろうことを示しており、崩壊斜面中腹からの表流水浸透が容易であった可能性と調和する。

以上の地質あるいは地形的特徴を考慮すると、今回の地震により大規模崩壊が発生した要因として次の可能性が挙げられる。



図 3.1-23 小規模崩壊滑落崖のパイピング痕

【推定される崩壊要因】

- ① 山体の構成地質が主に固結度の弱い火砕岩であるものと推察され、全体的に浸食耐性が低く、風化進行に伴いせん断抵抗力が低下していた可能性がある。
- ② 過去に断層運動で形成された立野火口瀬付近であるため、基本的に脆弱な地盤状態であった可能性がある。また、崩壊斜面は布田川断層帯と推定断層に挟まれた山体であり、過去の断層運動によって、より大きくダメージを受けていた可能性がある。
- ③ 山腹中腹に浸食谷が発生し難い特徴が認められ、斜面中腹が高透水性であった、すなわち斜面に緩みが生じていた可能性がある。
- ④ 斜面下方の崖錐層は黒ボク層を流れ盤に挟在するなど滑動や崩壊を生じやすい状態であった可能性がある。
- ⑤ 断層変位の大きい箇所近傍であったため、より強い地震動が斜面に作用した影響がある。

立野火口瀬は、阿蘇カルデラから熊本市街地へ抜けるには交通の便がよい箇所ではある。しかし上述のように、この独特の地形が活断層に由来した地形であることを忘れてはならない。したがって、当該地区におけるインフラ復旧に際しては、活断層が付近に存在することや、過去の断層運動によって地盤が脆弱化している可能性を考慮した復旧計画とすることが重要である。また、今後発生し得る地震に対し、受ける被害を極力低減させる工夫を考えていくことも求められる。

(2) 高野台地区（京都大学火山研究センター付近）の地すべり

写真 3.1-1 に高野台地区（熊本県阿蘇郡南阿蘇村河陽）の崩壊状況写真を示す（アジア航測株式会社撮影）。向かって右側に見られる崩壊は、緩勾配にも関わらず大規模となり、小丘から分岐して流下しており、流下距離も長い。この崩壊は、本震発生の平成28年4月16日1時25分直後から断続的に発生したものと推定される。高野台地区は、2000年代に分譲が始まった地域であり、南阿蘇の自然に囲まれ、近くにはペンションや別荘、温泉施設が点在する環境にあり分譲住宅や別荘が建ち並んでいたが、崩壊土砂は上述のように緩勾配にも関わらず約500m流下して住宅地まで到達、複数の住宅が土砂に巻き込まれて倒壊し、住民5名が死亡した。



写真 3.1-1 高野台（京都大学火山研究所）での航空写真（アジア航測株式会社提供）

崩壊部の地質構造について、全国地質業協会連合会（全地連）が平成28年熊本地震復興支援ボーリング柱状図緊急公開サイトを公開している¹⁶⁾。それによると高野台地区には3点のボーリングデータが存在するが、ここでは、溶岩円頂丘付近のボーリング2点について抽出して図3.1-24に示す。標高540～550mの間に火山研究所溶岩（約5万年前の噴火による溶岩ドーム）があり、その上部に10.5m～12.5mの表層土が覆っている。ボーリング調査によれば、火山灰と黒ボク、降下軽石が存在する。

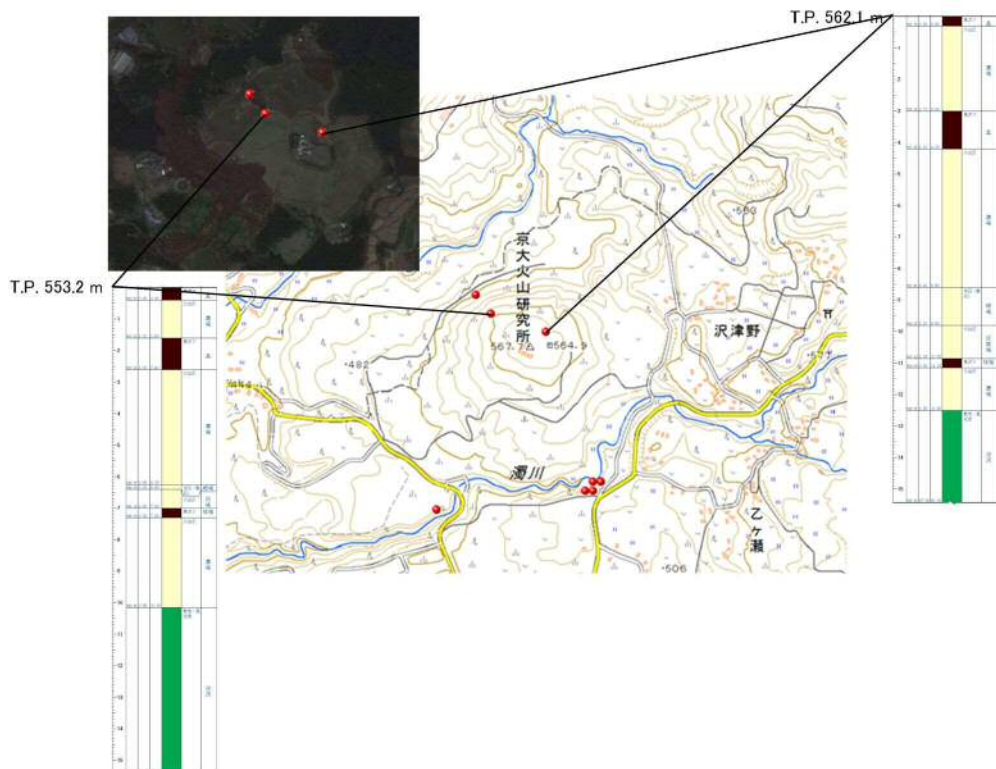


図 3.1-24 高野台地区の柱状図
 (<http://geonews.zenchiren.or.jp/2016KumamotoEQ/index.html>)

写真 3.1-2 に滑落崖を示す。滑落崖の様子からも火山灰と黒ボクが層状に位置していることがわかる。



写真 3.1-2 滑落崖

写真 3.1-3 に崩壊せずに残った小丘に見られた側方崖を示す。崩壊時の土塊の擦跡が残っている。当該斜面の崩壊要因は大きな地震動に加えて地下水の影響もあったと推定される。特に小丘から分岐した崩壊土砂の片方は写真 3.1-4 のように芝生の分解がなく、Spreads と呼ばれる運動形態に分類される。



写真 3.1-3 側方崖（崩壊時の土塊の擦跡が残る）



写真 3.1-4 小丘から分岐した崩壊土砂（芝生は分解の程度が低い）

一方、住宅まで流下した崩壊土砂は芝生の分解が激しく流動性が高いことが伺える。
写真 3.1-5 は崩壊土砂の中にあつた塩ビ管であるが、中は土砂にて閉塞されていた。



写真 3.1-5 崩壊土砂の中にあつた塩ビ管

崩壊部の底部に露出した箇所（写真 3.1-6）には地すべり面と思われるやや硬い層上に黄色粗粒軽石層が付着していた。



写真 3.1-6(a) 崩壊部の底部に露出したすべり面

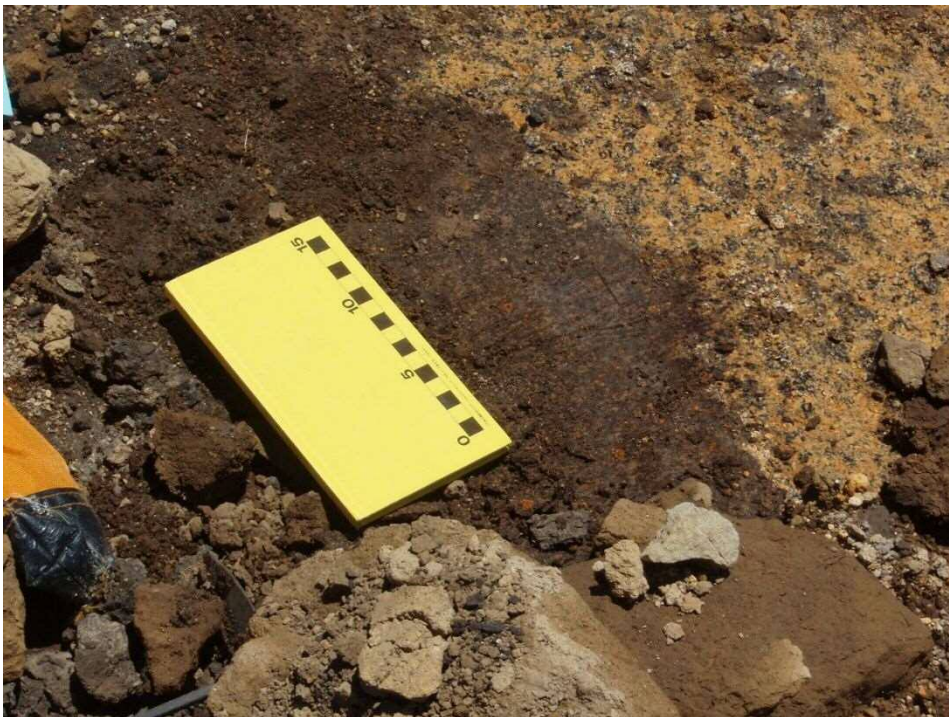


写真 3.1-6(b) 崩壊部の底部に露出したすべり面

釜井らの調査によるとこのすべり面の傾斜は約 15°であり、崩壊発生前の地表傾斜と等しいことから、軽石層に沿って薄く剥げ落ちて崩壊したものと推測している¹⁷⁾。この崩壊を受け、国土交通省砂防部では平成 28 年 5 月 24 日に「高野台地区 災害関連緊急地すべり対策事業」の実施を決定した（事業費：約 22 億円）。また、調査した際には、写真 3.1-7 のように複数個所に表層傾斜計（MEMS 型）が設置され、今後の地震（余震）や降雨による二次的な土砂災害の発生を未然に防ぐためのモニタリングが実施されていた。表層傾斜計は、近年多くの製品が開発・市販されているが、その性能や崩壊基準等の設定に統一的な見解が得られていない場合が多い。今後、震災復旧時の簡易モニタリングへの適用を考えるとこれらのデータの蓄積が望まれる。



写真 3.1-7 崩壊箇所によく設置された表層傾斜計（MEMS 型）

(3) 火の鳥温泉の崩壊

1) 被災概要

「平成28年熊本地震」は4月14日の前震および4月16日の本震で、それぞれ最大震度7を記録し、熊本県を中心として九州の広い範囲と山口県において被害が発生している¹⁸⁾。南阿蘇村においても、前震、本震それぞれ震度5弱、震度6強の揺れを記録している。

南阿蘇村の長野地区にある火の鳥温泉の宿泊施設「ログ山荘 火の鳥」では、14日の前震では被災を免れたものの、16日の本震では施設背後斜面で崩壊が発生し、宿泊客2名が亡くなっている。この付近では阿蘇大橋や京大火山研究所をはじめ、大規模な崩壊が複数発生している（写真3.1-8）。

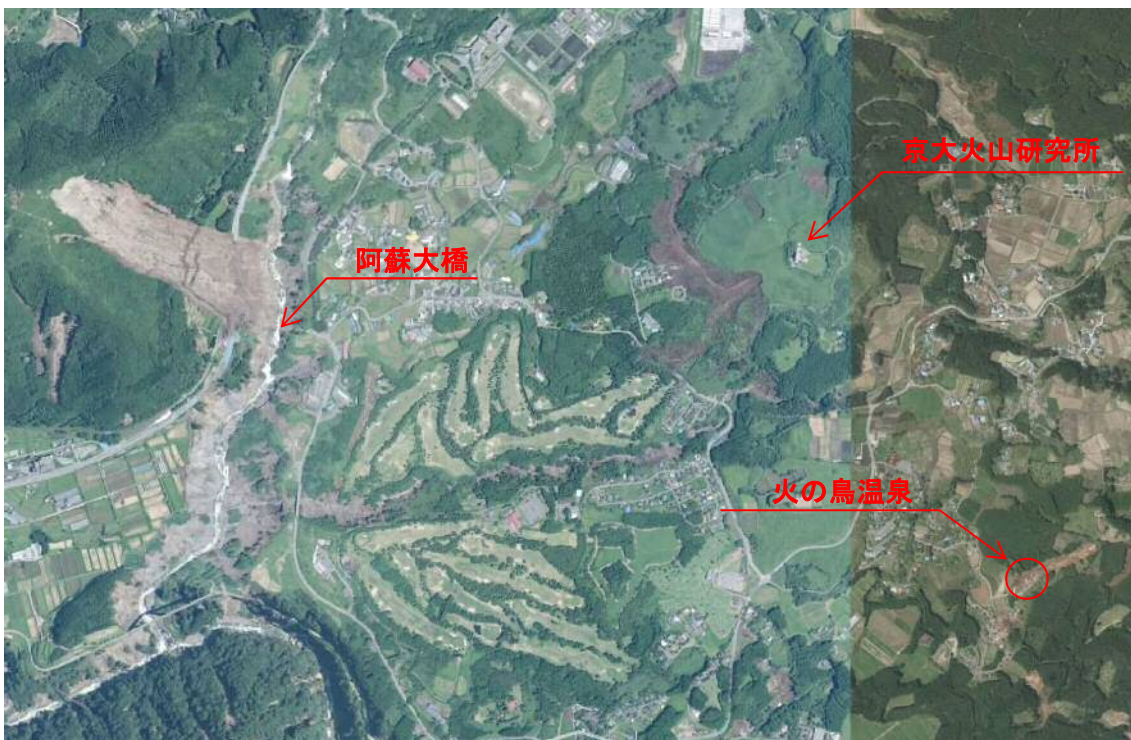


写真 3.1-8 火の鳥温泉周辺の広域空中写真
画像撮影日 2016.7（国土地理院地図（電子国土 Web）に加筆）

2) 地形・地質

「ログ山荘 火の鳥」周辺（写真 3.1-9 内①）は、標高 500～600m の緩～やや急勾配な斜面が分布しており、起伏に富む。土地利用は、遷緩線を境に、緩斜面は耕作地や宅地として利用され、急勾配斜面は植林が行われている。

なお、南側の隣接斜面においても崩壊が発生している（写真 3.1-9 内②）。

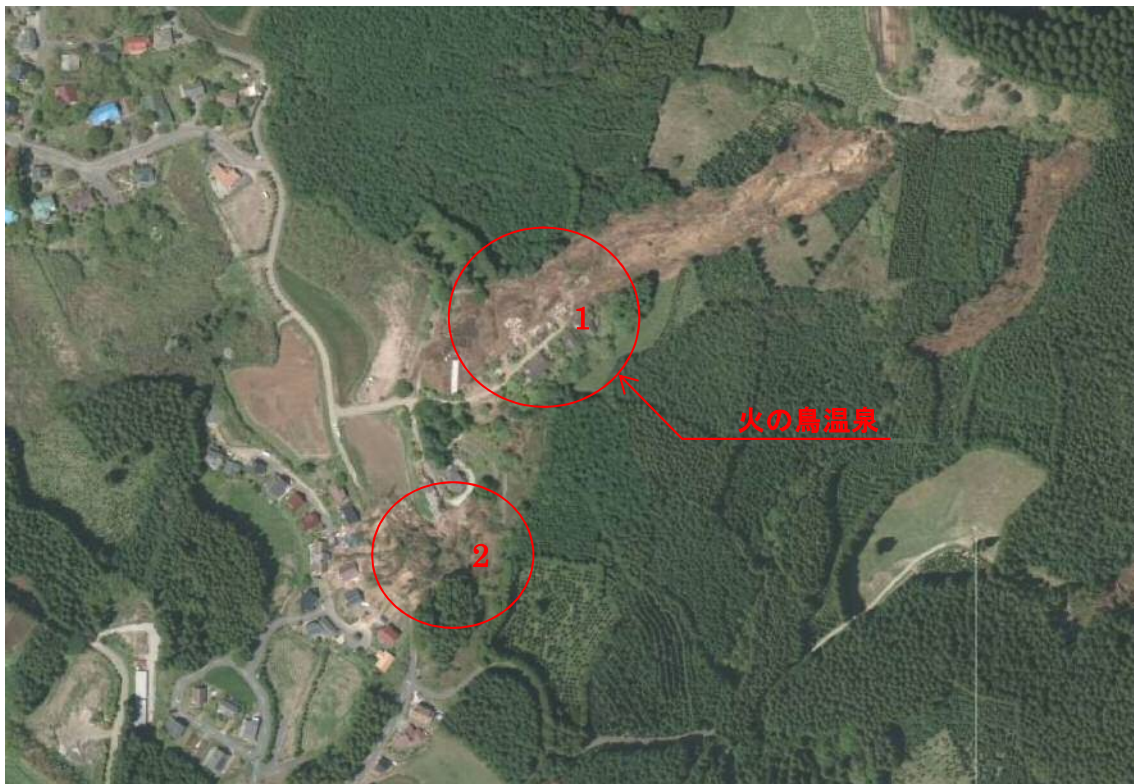


写真 3.1-9 火の鳥温泉付近の空中写真
画像撮影日 2016.7（国土地理院地図（電子国土 Web）に加筆）

①の崩壊箇所は、建物があった範囲には緩斜面が分布するが、その上部斜面はやや急勾配な斜面となる。崩壊面には固結度の高い火山灰が分布しており、その崩壊面は起伏に富む。この固結度の高い火山灰を層厚数mで被覆していた固結度の低い火山灰が崩壊・流下したものと考えられる（写真 3.1-10）。



写真 3.1-10 ①崩壊箇所全景

②の崩壊面は急崖を形成しており、元々急勾配であった斜面が地震動により緩んで崩壊したものと考えられる（写真 3.1-11）。



写真 3.1-11 ②崩壊箇所全景

3) 空中写真判読

空中写真¹⁹⁾から地形を判読すると、崩壊箇所①の上部斜面は、弱い尾根筋に囲まれた凹凸の少ないすり鉢状の浸食地形であり、集水地形となっている（写真 3.1-12）。

崩壊箇所①は尾根付近から崩壊が始まっており、②の崩壊は、遷緩線直上の急傾斜部分で発生している。

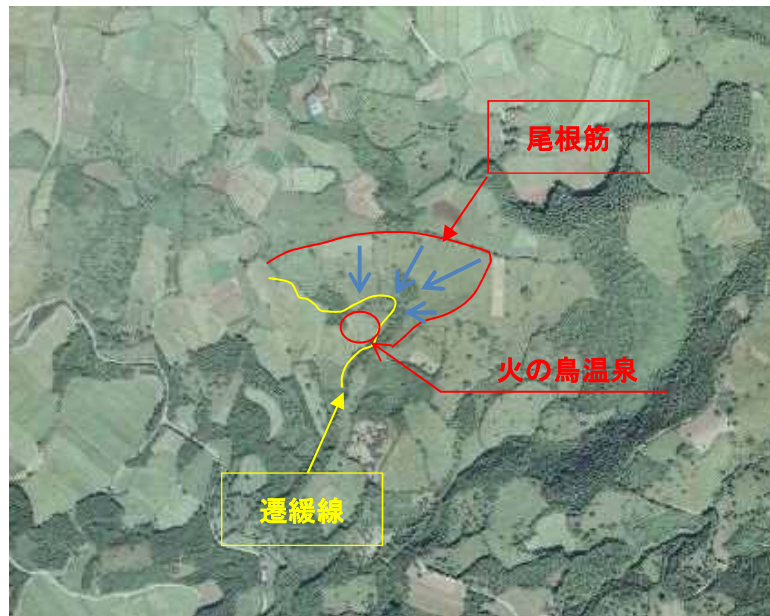


写真 3.1-12 空中写真判読結果
 (国土地理院 C KU-76-5 C3A-4 より作成)

4) 地質

崩壊箇所周辺に分布する地質は、「阿蘇火山地質図」²⁰⁾より、S 沢津野溶岩流（溶岩流）およびTc 栃ノ木溶岩（溶岩流、溶結火砕岩を伴う）である（図 3.1-25）。



図 3.1-25 調査地周辺の地質図（阿蘇火山地質図より作成）

現地の崩壊箇所を確認できる地質は以下であった。

①の崩壊面に分布する固結度の高い火山灰は、赤褐色を呈し、ハンマーのピックは貫入可能な程度の硬さである（写真 3.1-13）。斜面を被覆している固結度の低い火山灰は、暗色～淡色を呈し、地形と調和的に成層している（写真 3.1-14）。



写真 3.1-13 ①崩壊頭部



写真 3.1-14 ②滑落崖

また、いずれの崩壊箇所も、この固結度の低い火山灰層中にオレンジ色の軽石層を挟む（写真 3.1-15 および写真 3.1-16）。軽石層の層厚は 30 cm 程度以下で含水率は高い。



写真 3.1-15 ①箇所軽石層



写真 3.1-16 ②箇所軽石層

5) 崩壊発生要因

今回の災害は、地震動が最大の発生要因ではあるが、崩壊箇所を観察すると、水の関与が推察される。よって、崩壊発生に関する素因・誘因としての要素を抽出し考察する。

6) 降雨状況

南阿蘇村における地震前半月間（4月1日～16日）の総雨量は142.5 mm²¹⁾であった。4月7日に103.5 mmの日雨量を記録するものの、それ以降は日雨量5.5 mmを2回記録しているのみである（図3.1-26）。

つまり、4月7日以降の1週間は降雨が少なく、斜面の地下水は自然の排水作用により低減されていたと考えられ、この降雨による斜面の不安定化への影響度は低かったと考えられる。

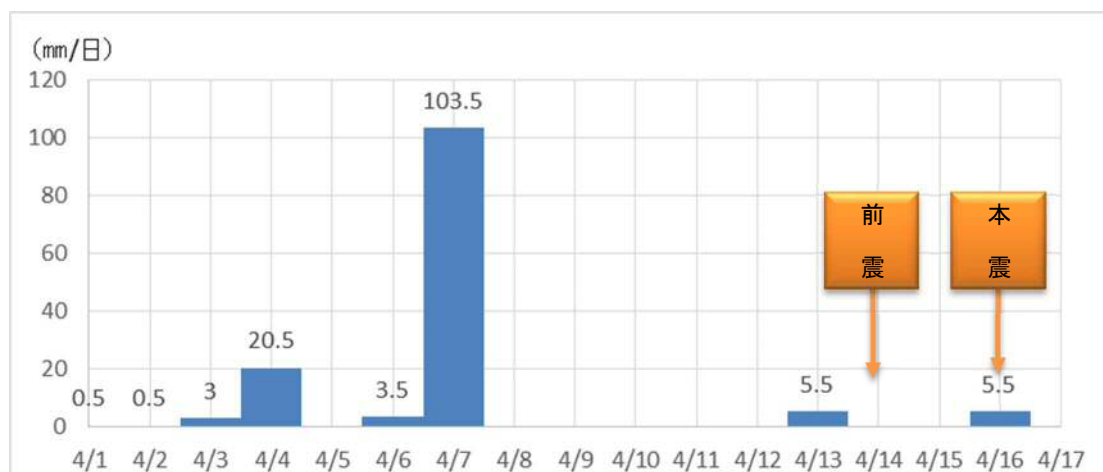


図3.1-26 南阿蘇日雨量グラフ（気象庁アメダス観測所：南阿蘇）

7) 軽石層の分布

この地区での崩壊①、②は、いずれも火山灰中に軽石層を挟む。調査日及び前3日間の総雨量は1mmと少なかったものの、崩壊面に露頭する軽石層の含水比はやや高かった。また、火の鳥温泉北西部の京大火山研究所において発生した崩壊においても、崩壊面付近に軽石層の分布が認められる（写真3.1-17および写真3.1-18）。



写真 3.1-17 軽石層



写真 3.1-18 崩壊先端部の軽石層（湿潤）

8) まとめ

「平成28年 熊本地震」による斜面災害は大きな地震動がその主要因であるが、現地調査によって確認された土砂移動形態から水の関与が推察される。ただし、地震前の降雨量は、7日前に103.5 (mm/日) を記録するものの、その後の降雨量は乏しく、自然の排水作用により地下水は低減されていたと考えられる。

つまり、地下水が斜面の安定性や地震時における地盤の挙動に影響を与えるためには、特定の部分に地下水が貯留・もしくは流動している必要がある。今回の現地調査において確認された軽石層の分布とその含水状態から、この軽石層が地震時における斜面の安定を左右した可能性を考える。今後は、軽石層の平常時の給排水特性や、地震時における排水特性と強度変化、併せて上・下位の火山灰との地下水流動や強度変化の応答関係に関する研究が望まれる。

(4) 山王谷川の土石流

1) 地質状況

山王谷川は、標高 1,337m の烏帽子岳の北西～南西斜面を源流部とし、西南西方向に流下し、白川に合流する河川である。当該流域周辺の地質図を図 3.1-27 に示すが、山王谷川流域では、烏帽子岳火山による溶岩流・火砕岩を基盤岩とする。崩壊が多発した上流域ではこの上位に草千里ヶ浜火山の軽石層等が分布しているさらに地表面部には黒ボク・ローム等の未固結層が広く分布している。



降下火山灰 Air-fall ash	a	火山灰 Volcanic ash
草千里ヶ浜火山 Kusasenrigahama Volcano	Kd	溶岩流 (D) Lava flow
中央火口丘 Central cone	Kp	軽石、一部は強く溶結 (D) Pumice, in part densely welded
主軽石丘 Main pumice cone	E	溶岩流及び火砕岩 (A) Lava flow and pyroclastic rock
烏帽子岳火山 Eboshidake Volcano		

図 3.1-27 山王谷川周辺の地質図 (阿蘇火山地質図²⁰⁾ に加筆)

2) 調査地及び本震直後の災害概要

図 3.1-28 に調査地である山王谷川の状態を示す。

土石流に影響を及ぼしたと
想定される主要な崩壊地



図 3.1-28 調査地周辺状況 (国土地理院地図に加筆)

山王谷川は、草千里の南側を源頭部とし、南阿蘇村長野地区を流れる土石流危険渓流である。保全対象として、イエローゾーン内に人家93戸、国道325号、県道149号が存在している²²⁾。谷出口に山王谷川砂防堰堤が設置され、その上流の渓床には複数の治山堰堤が配置されている。山王谷川では、本震にともない、上流域で多数の表層崩壊が発生するとともに、本震前51時間の降雨量は0mm（図3.1-29参照）にもかかわらず土石流が発生した。山王谷川砂防堰堤の上流約700mで合流する左支川上流域の烏帽子岳西側斜面で発生した表層崩壊土砂は山腹及び渓床に堆積してことを考慮すれば、この土石流の発生源は山王谷川砂防堰堤の約1.6km上流の右支川で発生した複数の表層崩壊と推測されている²³⁾、²⁴⁾。また、山王谷川下流約400mにおける杉ノ尾橋が閉塞し、その上流域で左岸側水田を主体として黒ボクの堆積が認められる。なお、黒ボクの堆積の一部は流路工沿いの家屋に到達しているものの、全壊するような家屋被害は認められなかった。すなわち、黒ボクの流れは非常にゆっくりとしたものであった判断される。

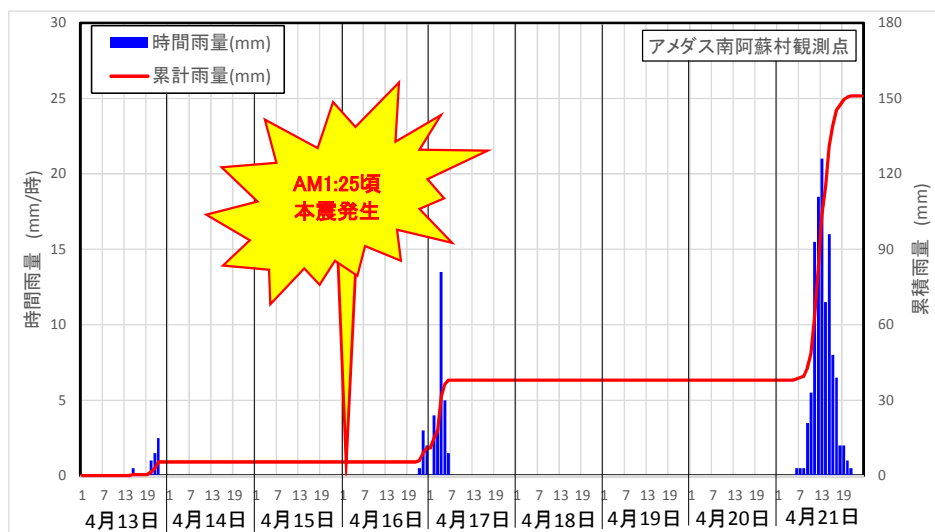


図 3.1-29 本震発生前後の降雨状況（アメダス南阿蘇観測点）

3) 本震直後に山王谷川で発生した土石流の特徴

本震の翌日の4月17日に国土地理院が撮影した画像²⁵⁾によれば、流路工の上方に堆積した黒ボクは、常時流水や4月16日21:00～17日6:00までの降雨の影響により、流出が顕在化していた。しかし、山王谷川砂防堰堤直上流の溪流内の大量の黒ボクは、多少のガリー侵食は認められるものの、谷底全体に堆積していた。

4月21日の降雨に伴う出水をはじめとする本震後の流水の影響により、黒ボクは二次流出し、流路工内でφ2～3mの巨石が堆積することが確認された。このことから、降雨は存在しなかったものの山王谷川では本震直後に土石流が発生していたと判断される。山王谷川砂防堰堤の右岸袖部の破壊・流出は、これらの土石流に伴う巨石の衝突によるものと推測される(写真3.1-19参照)。なお、崩壊した右岸袖部の移動距離は約100mで、かつ流路工を越えて左岸側に移動していることから、その衝撃力は非常に大きいものであったと推測される(写真3.1-20参照)。



(山王谷川砂防堰堤の被災状況)



(下流流路工内の巨石堆積状況；5/8撮影)

写真3.1-19 山王谷川砂防堰堤の被災状況と下流流路工内の巨石堆積状況



写真3.1-20 山王谷川砂防堰堤袖部の流出状況 (4/24撮影)

山王谷川砂防堰堤から約 380m上流の左岸側斜面には、2 つの崩壊地が認められる（図 3.1-28 中に図示）。これらの斜面の比高は 40m 程で、上部には黒ボクやローム層が分布し、その下位の溶岩と弱溶結の火山噴出物による数m間隔の互層が急峻な溪岸斜面（写真 3.1-21 参照）を構成している。当該斜面では上部等の黒ボクやローム層において表層崩壊（写真 3.1-22 参照）が発生し、下位斜面内の溶岩や火山噴出物を巻き込みながら崩壊し、土石流化したものと推測される。このような形態の土砂移動は山王谷川の溪岸斜面で多数発生したと推測される。



写真 3.1-21 崩壊地斜面内に認められる地質構造



写真 3.1-22 斜面上部の表層崩壊状況（写真 3.1-21 の左側崩壊の頭部）

山王谷川では、常時流水は存在するものの、流路工内の深さで 10cm 程度と少ない。にもかかわらず、降雨のない状態でこのような大規模な土石流が発生した理由には、黒ボクなどの移動土塊が多量の水分を含み、強い地震動の影響で湧出し、土粒子間の結合力を低減させ、高流動化したためと推測される。これら流れは土砂濃度が高く、清水に比べて比重が大きくなったこともあり、斜面内もしくは溪床の浮石や転石を巻き込みながら土石流化したものと推測される。ただし、本震時の流水の全体量が少ないこともあり、本震直後は山王谷川内には多量の不安定土砂が堆積し、出水時などに土石流の発生が懸念される状態であったと推測される。

4) 6月20日～21日に発生した土石流

6月19日～21日にかけて、南阿蘇村を含む熊本県内において、本震後初めてとなる非常に強い降雨が発生した。図3.1-30に6月19日4:00の降り始めから21日にかけての降雨状況を示す。この一連の降雨による累積雨量は323mmに達し、最大時間雨量は68.5mm/h（6/20,23:00～24:00）であった。当該降雨により、山王谷川では土石流が発生し、山王谷川砂防堰堤より約700m下流の新畑橋周辺（写真3.1-23参照）及び約1.6km下流の水田地において巨石を含む流出土砂の堆積が認められた。当該土石流には、巨石等の含有が多く、典型的な降雨型土石流の形態であった。なお、約1.6km下流の水田地は、本震直後の土石流による流出土砂の堆積が認められた箇所である。

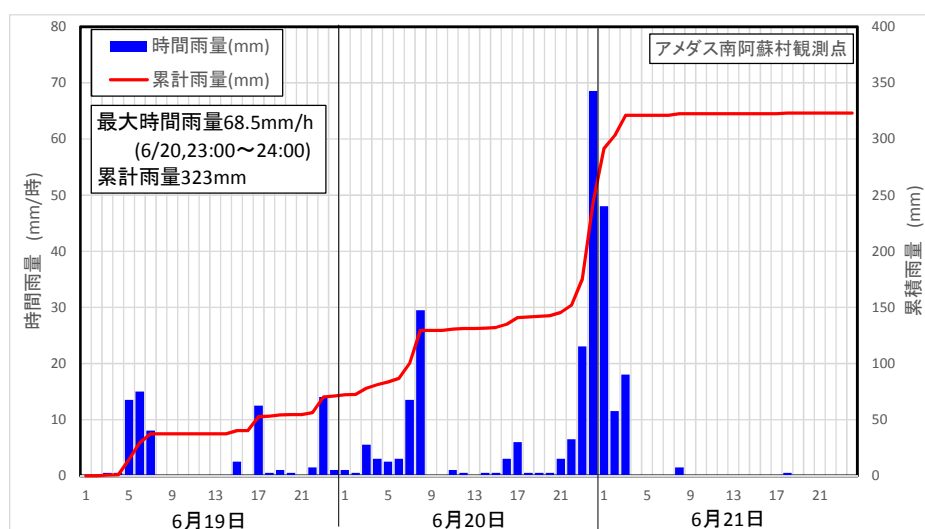


図 3.1-30 6月19日～21日における降雨状況（アメダス南阿蘇観測点）



写真 3.1-23 土石流堆積状況（新畑橋直上流，6/21撮影）

写真 3.1-24 及び写真 3.1-25 に当該降雨の前後の山王谷川砂防堰堤の堆砂状況を示す。これらの写真から渓床内に堆積した土砂等が二次移動したことが確認できた。



写真 3.1-24 山王谷川砂防堰堤堆砂状況 (6/3 撮影)



写真 3.1-25 山王谷川砂防堰堤堆砂状況 (6/21 撮影)

なお、溪流沿いの住民の多くは周辺施設への避難を行っていたこともあり、当該土石流による人的被害は発生していない。

5)まとめ

山王谷川では、平成28年熊本地震の本震直後に、降雨がないにもかかわらず土石流が発生した。これは強い地震動の影響により、移動土塊内部から水分が湧出して高流動化したためと想定される。しかしながら、3km以上を流下させたメカニズムについては、今回の調査では明らかにできず、今後の課題と考えられる。

また、本震に伴い溪床内には不安定土砂が堆積し、再流出が懸念されたが、6月20日～21日の降雨により、二次移動し、土石流化した。今後の出水や台風により、再び土砂の流出が懸念されることから、流路工内の除石等の緊急減災対策の実施が必要と考えられる。

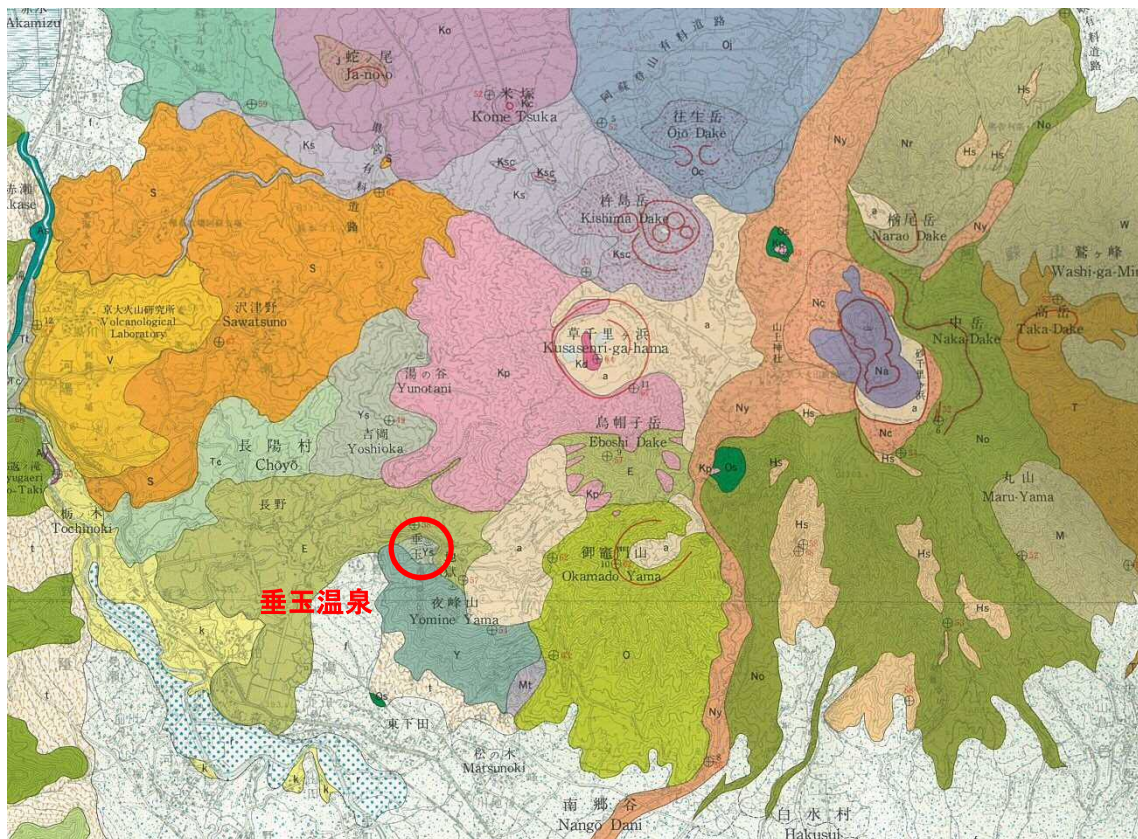
(5) 垂玉温泉付近の崩壊

垂玉温泉付近の地質は、図 3.1-31 に示すように、第四紀後期更新世の阿蘇火山の中央火口丘群の中でも 1 万年より前の噴出物からなる地域で、主に流紋岩・安山岩質の溶岩で構成されている。



図 3.1-31 垂玉温泉付近の地質
 (後期更新世阿蘇火山の中央火口丘群 (1 万年より前の噴出物 (溶岩類)))
 (20 万分の 1 地質図「大分」(2015 年版)より)

垂玉温泉近傍の地質は、図 3.1-32、図 3.1-33 に示すように、吉岡溶岩流→夜峰山火砕岩→鳥帽子岳溶岩流及び火砕岩の順で構成され、垂玉温泉の基盤は吉岡溶岩流、急崖を形成しているのは鳥帽子岳溶岩流及び火砕岩である。また、これらの溶岩の上位には、草千里ヶ浜火山以降の火山灰・軽石等の火山碎屑物が覆っている。



降下火山灰 Air-fall ash	a	火山灰 Volcanic ash	中央火口丘 Central cone	Kd	溶岩流 (D) Lava flow
カルデラ埋積層 Caldera-fill deposit	c	泥、砂及び礫 Mud, sand and gravel	主軽石丘 Main pumice cone	Kp	軽石、一部は強く溶結 (D) Pumice, in part densely welded
崖錐 Talus	t	礫、砂及びシルト Gravel, sand and silt	烏帽子岳火山 Eboshidake Volcano	E	溶岩流及び火砕岩 (A) Lava flow and pyroclastic rock
河岸段丘堆積物 River terrace deposit	g	砂及び礫 Sand and gravel	夜峰山火山 Yomineyama Volcano	Y	火砕岩(大部分溶結) (Ao) Pyroclastic rock (mostly welded)
扇状地堆積物 Fan deposit	f	砂、礫及びシルト Sand, gravel and silt	松ノ木火山 Matsunoki Volcano	Mt	火砕岩及び溶岩流 (B) Pyroclastic rock and lava flow
中岳火山 Nakadake Volcano			御籠門山火山 Okamadoyama Volcano	O	溶岩流及び火砕岩 (A) Lava flow and pyroclastic rock
最新期火砕丘 Youngest pyroclastic cone	Na	成層した火山灰及び火山岩塊 (一部溶結) (Ao) Layered volcanic ash and block, partly welded	丸山火山 Maruyama Volcano	M	火砕岩及び溶岩流 (B,Ao) Pyroclastic rock and lava flow
新期山体(溶岩流/凝灰岩丘) Young volcanic edifice (Lava flow/tuff cone)	Ny	溶岩流/凝灰岩 (Ao) Lava flow/tuff	櫛尾岳火山 Naraodake Volcano	Nr	火砕岩及び溶岩流 (Ao,B) Pyroclastic rock and lava flow
古期山体 Old volcanic edifice	No	火砕岩、溶岩流及び岩脈 (Ao,B) Pyroclastic rock, lava flow and dike	鷲ヶ峰火山 Washigamine Volcano	W	火砕岩及び溶岩流 (Ao,B) Pyroclastic rock and lava flow
米塚火山(溶岩流/スコリア丘) Kometsuka Volcano (Lava flow, scoria cone)	Ko	溶岩流/スコリア (B) Lava flow/scoria	古期小火山体 Older small volcanoes	Os	溶岩流 (A,Ahp) Lava flow
往生岳火山(溶岩流/スコリア丘) Ojodake Volcano (Lava flow, scoria cone)	Oj	溶岩流/スコリア (B) Lava flow/scoria	赤瀬溶岩 Akase Lava	As	溶岩流 (Ao) Lava flow
杵島岳火山(溶岩流/スコリア丘) Kishimadake Volcano (Lava flow, scoria cone)	Ks	溶岩流/スコリア (B) Lava flow/scoria	沢津野溶岩 Sawatsumo Lava	S	溶岩流 (D) Lava flow
高岳火山 Takadake Volcano	T	火砕岩及び溶岩流 (Ao,B) Pyroclastic rock and lava flow	火山研究所溶岩 Volcanological Laboratory Lava	V	溶岩流 (Rpb) Lava flow
赤水溶岩 Akamizu Lava	Am	溶岩流 (Ao) Lava flow	吉岡溶岩 Yoshioka Lava	Ys	溶岩流 (B,Ao) Lava flow
蛇ノ尾スコリア丘 Jano-o Scoria Cone	J	スコリア (B) Scoria	白水火山 Hakusui Volcano	Hs	溶岩流、降下軽石を伴う (D,A) Lava flow, with air-fall pumice
			本塚火山 Hontsuka Volcano	H	溶岩流、一部は水中溶岩 (Dh) Lava flow, partly subaqueous

図 3.1-32 垂玉温泉近傍の地質 (5 万分の 1 阿蘇火山地質図 (1985) より)

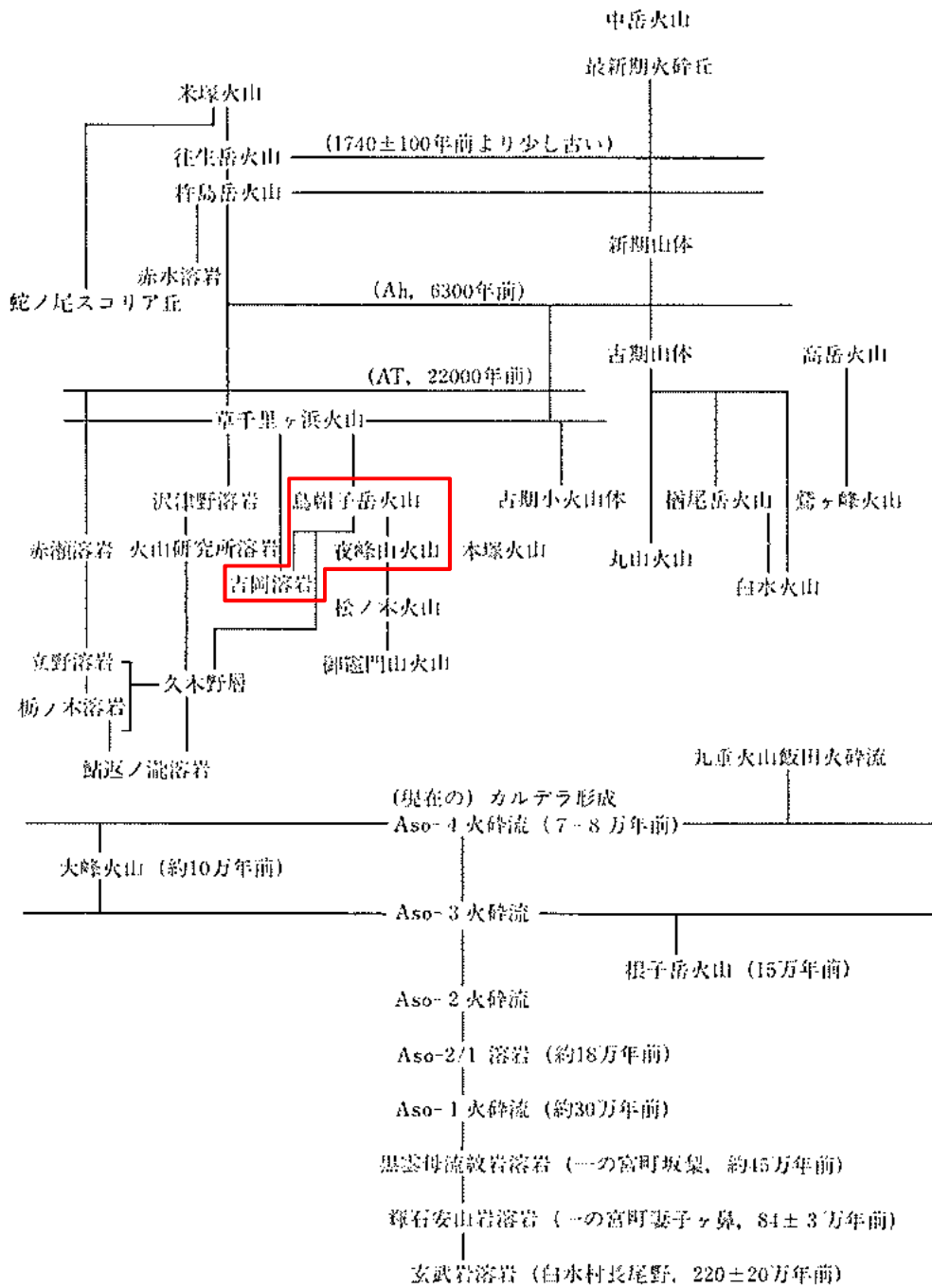


図 3.1-33 阿蘇火山の形成順序 (5 万分の 1 阿蘇火山地質図 (1985) より)

昭和51年と平成28年熊本地震後の垂玉温泉付近の空中写真を図3.1-34に、熊本地震による崩壊範囲を図3.1-35に示す。垂玉温泉周辺は、急崖や沢地形が多くあり、比較的大きな崩壊として4箇所の崩壊が見られる。



図3.1-34 昭和51年9月29日撮影の空中写真（国土地理院公開の空中写真より）

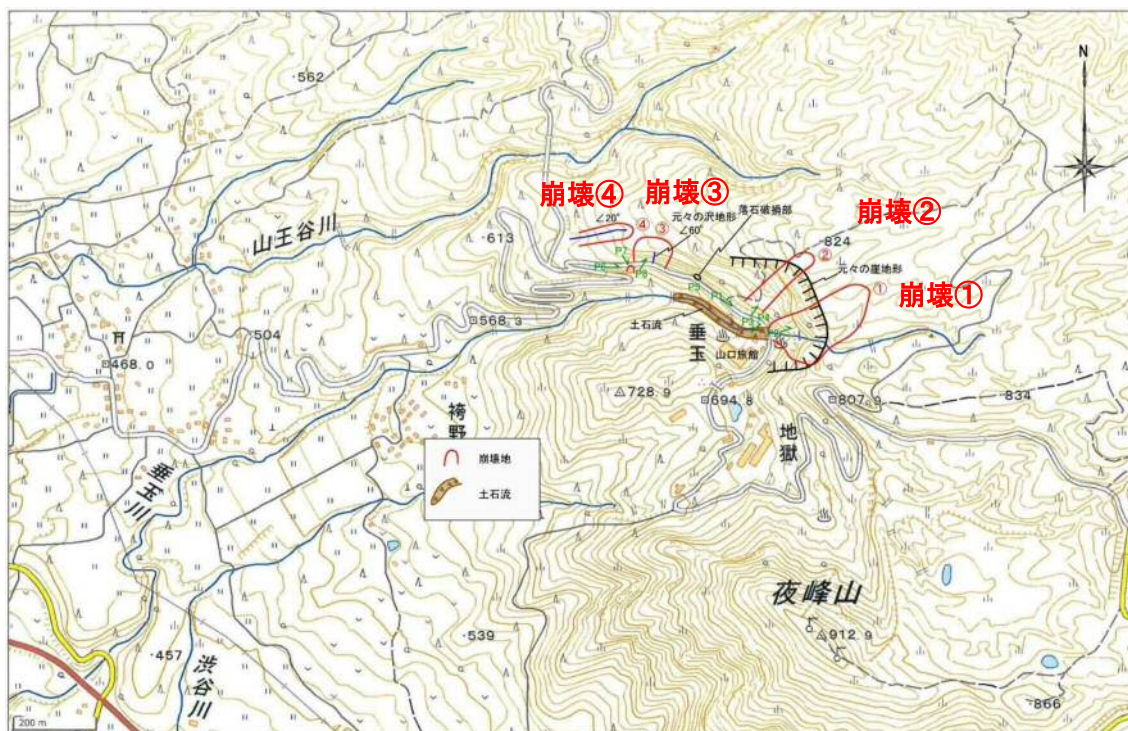


図 3.1-35 垂玉温泉付近の崩壊状況
(国土地理院地形図を基図に地形判読・現地調査情報を記載)

崩壊①、②(写真 3.1-26～写真 3.1-29)は、斜面勾配 60° 以上の急崖を呈し、かつ集水地形を呈しているところを中心に崩壊が生じていることから、地震力だけでなく水の作用が斜面崩壊に影響していたことがわかる。また、烏帽子岳溶岩の上位を覆う火山灰層、軽石層が広範囲に崩壊したことにより、土石流が発生している。

崩壊③(写真 3.1-33)は、斜面勾配 60° 以上で複数の溶岩部及び自破碎部で構成される急崖で崩壊が生じている。崩壊後の斜面に湧水は見られず、崖下には溶岩の塊が多く見られる。斜面部の自破碎部の強度は低く、溶岩部は割れ目が多く生じていることから、この急崖の安定は溶岩部の強度によって成り立っており、地震により溶岩の塊が割れ目に沿って抜け落ちたことにより、自破碎部も含む大きな崩壊に繋がったことがわかる。

崩壊④は、斜面勾配が 20° 程度と他の 3 つの崩壊より緩やかであるが、やはり集水地形を呈している箇所が崩壊している。このように、地震力だけでなく、水の影響も斜面崩壊に大きく寄与していたと考えられる。

このほか、崩壊①、②、③を見ると、斜面勾配 60° 以上の急崖部の上の比較的緩やかな勾配 (20° 程度)の部分も崩壊している。この急崖上部の地形的な特徴として、小さな尾根地形を呈していることが挙げられる。これまでの地震被害(例えば、神城断層に伴う長野地

震)でも、斜面の凸状部や尾根近傍で地震動は増幅されやすく崩壊した例があるように、これらの崩壊①、②、③も尾根近傍での地震動の増幅が起きたことも要因の一つと考えられる。

以上のことから、崩壊①、②、④は、集水地形であるほか、急崖上部に小さな尾根地形ならびに火山灰層、軽石層で形成されていたことにより、地震動だけでなく水の作用により崩壊を誘発したものと考えられる。崩壊③は、水の作用は少ないと考えられるが、亀裂の多い溶岩部と強度の小さい自破碎部で急崖地形が形成されていたことにより、強い地震で溶岩部に崩壊が生じたために自破碎部を含む大きな崩壊に繋がったと考えられる。



写真 3.1-26 山口旅館東側の崩壊状況（遠景）



写真 3.1-27 山口旅館東側の崩壊状況（近景）



写真 3.1-28 山口旅館北側の崩壊状況（写真中央から左上）



写真 3.1-29 垂玉川上流の急崖からの土石流の状況
山口旅館（写真右の家屋）には達していないが、道路等は通行できない状況となっている。

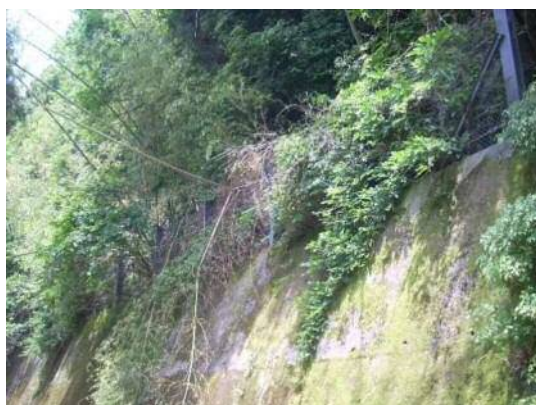


写真 3.1-30 落石による防護ネットの破損
（破損はしたものの落石そのものは防護できている）



写真 3.1-31 舗装道路の破損



写真 3.1-32 道路法肩の小崩壊（盛土部であった可能性有）

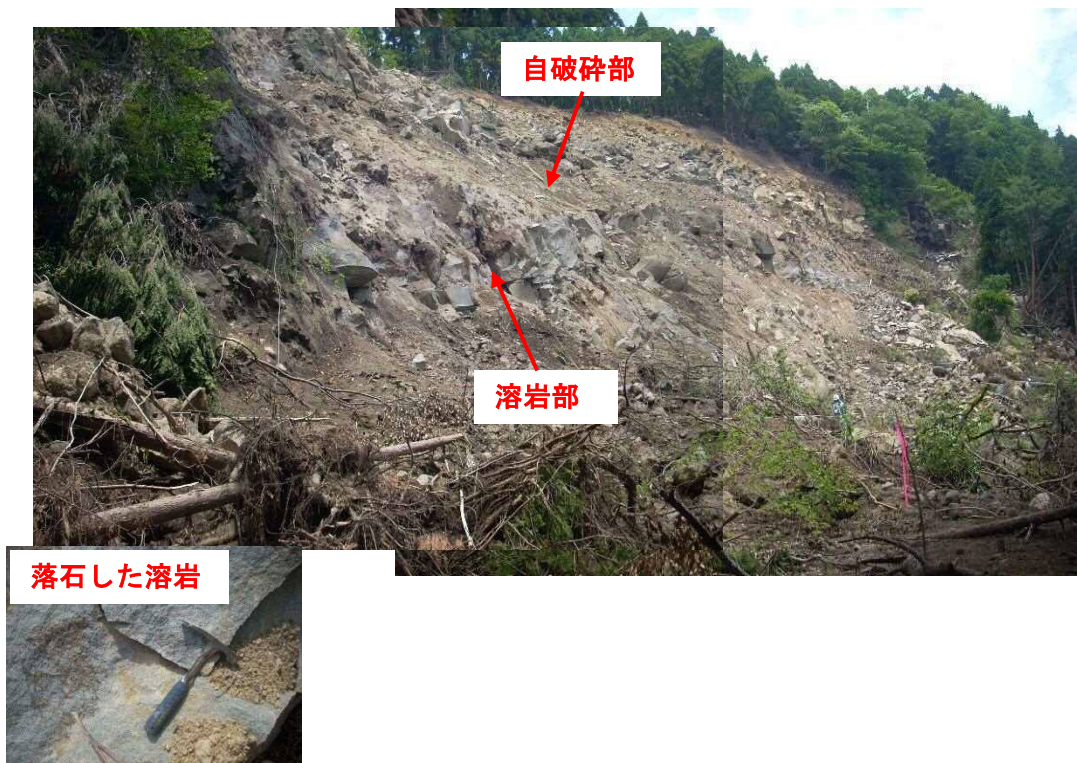


写真 3.1-33 急崖部の上からの比較的大きな崩壊（安山岩質溶岩が主体）

参考文献

- 1) 小野晃司・渡辺一徳：阿蘇カルデラ，月間地球，5，73-83，1983.
- 2) 地震調査研究推進本部：布田川断層帯・日奈久断層帯の評価（一部改訂），2013.
http://www.jishin.go.jp/main/chousa/katsudansou_pdf/93_futagawa_hinagu_2.pdf（2017年3月10日閲覧）
- 3) 産業技術総合研究所：「第四報」緊急現地調査報告 [2016年5月13日] 2016年熊本地震に伴って出現した地表地震断層，2016.
<https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/kumamoto2016/kumamoto20160513-1.html>（2017年3月10日閲覧）
- 4) 地震調査研究推進本部：熊本地震「平成28年（2016年）熊本地震」に関する情報，2016.
<http://www.jishin.go.jp/main/oshirase/2016kumamoto.html>（2017年3月10日閲覧）
- 5) 国土地理院：平成28年熊本地震・空から見た（航空写真判読による）土砂崩壊地分布図，2016.
<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H27-kumamoto-earthquake-index.html#cc>（2017年3月10日閲覧）
- 6) アジア航測株式会社：「平成28年熊本地震」災害状況，2016.
http://www.ajiko.co.jp/saigai/kumamoto2016_04/danso.jpg（2017年3月10日閲覧）
- 7) 日経BP社：日経コンストラクション，2016年5月23日号（通巻第640号），p.11，2016.
- 8) 土木学会橋梁年報編集小委員会：橋 BRIDGE IN JAPAN 1971-1972，pp.26-27，1972.
- 9) 産業技術総合研究所地質調査総合センター：20万分の1地質図幅「熊本」，2004.
- 10) 産業技術総合研究所地質調査総合センター：20万分の1地質図幅「大分（第2版）」，2015.
- 11) 自然公園財団：新・美しい自然公園11，p.14，1993.（池辺伸一郎作図）
- 12) 渡辺一徳：阿蘇火山の生い立ちー地質が語る大地の鼓動，自然と文化阿蘇選書，阿蘇一の宮町史（7），pp.69-73，2001.
- 13) 国土地理院：地理院地図，
<http://maps.gsi.go.jp/>，2016.（2017年3月10日閲覧）
- 14) 国土地理院：平成28年（2016年）熊本地震に伴う断層近傍の地殻変動，2016.
<http://www.gsi.go.jp/cais/topic160428-index.html>（2017年3月10日閲覧）
- 15) 国土地理院：地図・空中写真閲覧サービス，USA-M303-94 および USA-M303-95，1956.

- 16) 全国地質業協会連合会（全地連）：平成 28 年熊本地震復興支援ボーリング柱状図緊急公開サイト,
<http://geonews.zenchiren.or.jp/2016KumamotoEQ/index.html>（2017 年 3 月 10 日閲覧）
- 17) 斜面災害研究センター（釜井・王・土井）：平成 28 年（2016 年）熊本地震によって発生した南阿蘇村の土砂災害（速報 1：2016.4.28 暫定版），
<http://landslide.dpri.kyoto-u.ac.jp/takano.pdf>（2017 年 3 月 10 日閲覧）
- 18) 総務省消防庁ホームページ：災害情報 平成 28 年 04 月 14 日 熊本県熊本地方を震源とする地震（第 64 報・H28. 7.1 更新）
<http://www.fdma.go.jp/bn/2016/>（2017 年 3 月 10 日閲覧）
- 19) 国土地理院ホームページ：地図・空中写真閲覧サービス
<http://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1>（2017 年 3 月 10 日閲覧）
- 20) 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 地質調査総合センターホームページ 阿蘇火山地質図
https://gbank.gsj.jp/geonavi/docdata/data/org_data/wxga_820_org_820.jpg（2017 年 3 月 10 日閲覧）
- 21) 気象庁ホームページ：過去の気象データ検索
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>（2017 年 3 月 10 日閲覧）
- 22) 国土交通省 HP：熊本県阿蘇郡南阿蘇村における災害関連緊急砂防事業の実施について【山王谷川 2】，
http://www.mlit.go.jp/river/sabo/jirei/h28dosha/160606_sanoutanikawa_saikansabo.pdf（2017 年 3 月 10 日閲覧）
- 23) 国土交通省 HP：平成 28 年熊本地震による土砂災害の概要（H28.6.7 時点），
<http://www.mlit.go.jp/river/sabo/jirei/h28dosha/dosyasaigainotokutyou.pdf>（2017 年 3 月 10 日閲覧）
- 24) 福岡浩・酒井直樹：平成 28 年熊本地震による南阿蘇村地域における地すべり災害尾初動調査，日本地すべり学会誌，vol.53，No.3（231），pp.21-25，2016.
- 25) 国土地理院 HP：平成 28 年熊本地震に関する情報，
<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H27-kumamoto-earthquake-index.html>（2017 年 3 月 10 日閲覧）