

平成28年熊本地震に起因した斜面災害に関する現地調査報告

Reconnaissance Report on Slope Disaster caused by the 2016 Kumamoto Earthquake

笠間 清伸 (かさま きよのぶ)
九州大学大学院 工学研究院 准教授

北園 芳人 (きたその よしと)
熊本大学 名誉教授

矢ヶ部 秀美 (やかべ ひでみ)
NPO 法人研究機構ジオセーフ

1. はじめに

平成28年熊本地震の本震は、マグニチュード (M) が7.3と大きく、被害範囲も大きく拡大した。震源地の熊本地方だけでなく、阿蘇地方も震度6強・6弱を記録し、南阿蘇村の立野地区では阿蘇大橋を落橋させる大崩壊をはじめ、多くの斜面崩壊が発生した。ここでは平成28年熊本地震による斜面崩壊について調査団の調査結果をもとに報告する。

熊本地震での震度に着目すると、大きな斜面崩壊が多発した南阿蘇村や阿蘇市では、前震の時は震度6弱以上を観測していなかったが、本震では5地点で6強と6弱を記録しており、本震による斜面崩壊と考えられる。特に南阿蘇村河陽では震央から25 kmも離れているにもかかわらず、益城町室園(震央からの距離6 km)の最大加速度(654.2 gal)を大きく上回る1316.3 gal(上下動成分)を記録しており、南阿蘇村立野(阿蘇大橋地区)の深層崩壊や河陽高野台(京都大学火山研究所)の緩斜面の地すべり性崩壊に繋がったと考えられる。また、国土地理院のGPS観測データによれば、本震により南阿蘇村長陽では南西方向へ98 cm、上向きに24 cmの地殻変動がみられている。これらのデータから本震において、南阿蘇村周辺で斜面崩壊が多発したことが伺える。

2. 斜面災害の分類

熊本地震による斜面災害の形態別に分類すると表1のように分類される。ここで、山地部の斜面災害を対象とし、宅地盛土や液状化など分類の対象とはしていない。また、表層崩壊とは、斜面表層を覆っている層だけが崩壊する現象、深層崩壊は表層だけでなく、岩盤の層まで含んで崩壊する現象とした。崩壊形態と崩壊規模が分かる写真を口絵写真—2~7 (<http://urx.nu/bmG4>)に示している。

火山岩類からなる岩盤で発生した斜面災害として、地震動による慣性力を誘因とした落石・トップリング・岩盤崩壊(タイプ①)がある。代表的な例として、白川・黒川合流部付近のV字谷兩岸の崩壊がある。合流部付近の兩岸は柱状節理や板状節理が発達した溶岩が急崖をなし、布田川断層帯に含まれる可能性が高く、震度6強の強い地震動により連続的に広い範囲で崩壊が見られ

表—1 斜面災害の形態別分類

発生源	主たる誘因	崩壊形態と崩壊規模	代表的な崩壊地
火山岩類 (岩盤)	地震動による慣性力	①落石・トップリング・岩盤崩壊	白川・黒川合流部付近の兩岸
		②深層崩壊	阿蘇大橋上の大規模崩壊
火山灰質地盤	地震動による慣性力	③表層崩壊	火の鳥温泉地区 蘇峰温泉地区
		④連続的な表層崩壊	烏帽子岳 小烏帽子
崩壊土砂	地震動による強度低下と水圧上昇	⑤地すべり性崩壊	高野台地区
		⑥土石流	山王谷川

注) 表層崩壊：斜面の表層を覆っている土の層だけが崩壊する現象
深層崩壊：斜面表層だけでなく深い位置にある岩盤の層まで含んで崩壊する現象

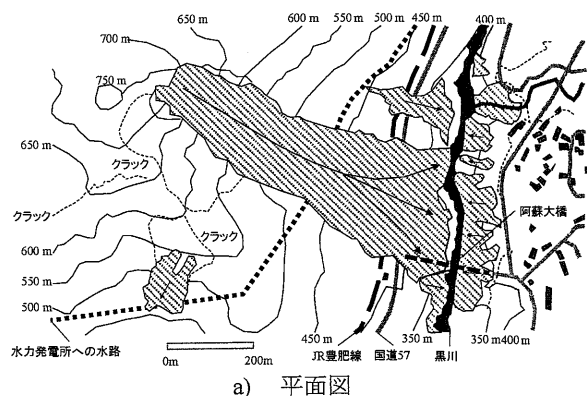
た。
火山岩類からなる岩盤では、深層崩壊(タイプ②)も発生しており、その中で最も大きな崩壊は、図—1に示すJR豊肥線、国道57号を侵食し、さらに黒川に架かる阿蘇大橋(国道325号)を落橋させた深層崩壊である。

次に、阿蘇カルデラ内に厚く堆積している主に赤ぼく・黒ぼくとよばれている火山灰質粘性土からなる火山灰質地盤(火山灰、火山砂、軽石及びスコリア等)で発生した斜面崩壊がある。その崩壊には形態の異なる3つのタイプが認められる。

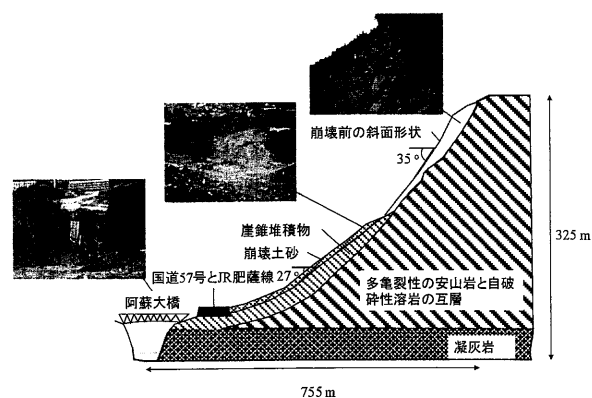
タイプ③は、南阿蘇村長野の火の鳥温泉地区と河陽の蘇峰温泉地区で発生した表層崩壊で、地形勾配は30°前後と急で、温泉変質した厚い軽石層をすべり面として崩土はほとんど一挙に脚部へ移動堆積している。すべり面は基盤岩の凹凸に調和的にすべっている。

タイプ④は烏帽子岳や小烏帽子では山頂付近を含め、円錐形をなす火山体斜面全域に連続して表層が崩落しているものである。遠望すると崩壊深は浅く火山灰質地盤で構成される。崩壊土砂が500 m以上運搬され、下流の緩傾斜の牧草地まで達し、溪流幅の狭まった所で停止している。堆積層の厚い部分は5 m以上にも達している。

タイプ⑤は火山灰質地盤からなる緩傾斜面で発生した地すべり性崩壊で、明瞭な軽石層をすべり面としている。移動土塊が波打って比較的長い距離を移動している等、



a) 平面図



b) 断面図

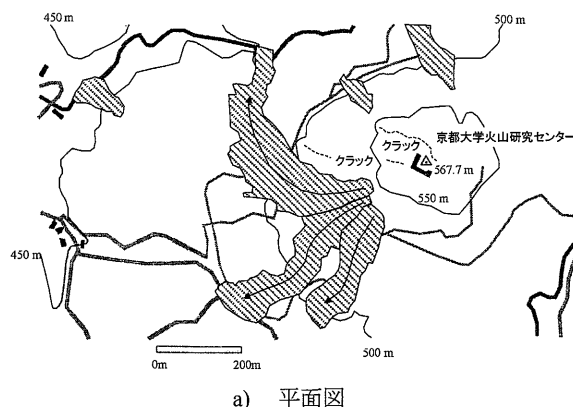
図一 阿蘇大橋周辺の深層崩壊

火山地帯特有の崩壊である。

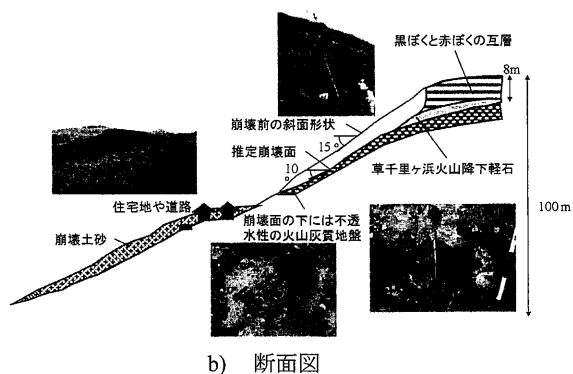
タイプ⑥は、山王谷川で発生した土石流が代表的である。小烏帽子の連続した表層崩壊で発生した大量の土砂と山王谷川中流域の渓岸の崩壊土砂が渓床を削剥しながら流れ下っている。崩壊時に降雨は無かったにもかかわらず、常時流水のある溪流であったため土石流は、谷の出口の砂防堰堤の一部を破壊し下流域では田面に氾濫している。ただし、土石流化した土砂は、表層崩壊による土砂と流木がほとんどで、大きな礫がほとんど見られない。河川流量が少なく、土石流の土砂量そのものは小さかった。

3. 特徴的な斜面災害の概要

図一に示す深層崩壊の規模は、崩壊長：約700 m、崩壊幅：約200 m、崩壊土砂量：約50万 m³、最大崩壊深約25 mと推定されている。地質は表層が火山灰質粘性土（黒ぼく、赤ぼく）で岩盤は先阿蘇火山岩類に属する安山岩と火砕岩が互層をなしている。崩壊斜面上端部は35°前後の急勾配で斜面下部は崖錐堆積物が堆積する15°程度の緩勾配で畑として利用されていた。崩壊前との地形比較から遷急線付近に以前から多くの崩壊跡があったことが判読できるが、今回は遷急線より上の尾根筋に形成されていた多亀裂性安山岩からなる厚い風化帯が強震動によってボトルネック的な崩壊を発生させている。滑落崖周辺部には今回の地震で形成された開口亀裂や段差が多数あり不安定化しているため、応急復旧対策とし



a) 平面図



b) 断面図

図一 高野台地区での地すべり性崩壊

て、この土砂を取り除く検討が行われている。

図一に示す高野台地区で発生した地すべり性崩壊は、斜面勾配が15°前後と降雨による土砂災害警戒区域の指定には該当しない地域で発生している。表層は赤ぼく・黒ぼくからなる火山灰質粘性土が厚く堆積している。その中に約3.1万年前の火山活動によって形成された草千里ヶ浜火山降下軽石層が深さ7~8mの所に約10~20cmの厚さで分布していた。すべりは高含水比の草千里ヶ浜火山降下軽石層が、地震動による繰返しせん断によって、急速非排水せん断状態となり、間隙水圧の上昇が生じたことやせん断強度が繰返しせん断を受けて残留強度となることで強度低下したためだと考えられる。軽石層が下位の硬質火山灰層に圧砕され、へばり付いているのが観察された。崩壊土砂は大きく図に示すように三方向へブロック状化して移動しており、いずれも表層が波打つように原形を維持しながら移動堆積している。南西側に流下した土砂は立木状態のまま移動して、県道149号を塞ぎ、一部ゴルフ場まで達している。西側に流下した土砂は移動区間の勾配が少し急であったため、移動土塊が速度エネルギーを持って高野台分譲地の一部に流れ込み5名の犠牲者を出した。その後北向きに向きを変え、河川にまで達している。10~15°の緩勾配の斜面で地下水がない状態で強震動によって土砂移動現象が生じており、今回の地震で火山地帯に発生した特異な斜面崩壊といえる。この地すべり性崩壊は、2011年東日本大震災において発生した福島県白河市葉の木平で発生した流動性地すべり²⁾と類似している。

表一 2 大規模土砂災害の比較

災害発生地区		熊本県南阿蘇村 立野地区	福岡県八女市 田代地区	熊本県水俣市 宝川内集地区	鹿児島県出水市 境町針原地区	
被災地区地形		JR豊肥本線、国道57号、阿蘇大橋(国道325号)	扇状地	扇状地	扇状地	
災害発生年月日		2016/4/16	2012/7/14	2003/7/20	1997/7/10	
災害発生時刻		1:25頃	未明(対岸の住民からの聞き込み)	4:20頃	0:45	
降雨	観測所名	阿蘇乙姫観測所	黒木雨量観測所	深川雨量観測所	出水雨量観測所	
	最大一時間降雨量	0 mm/h	87mm/h	91mm/h	62mm/h	
	降り始めから 災害発生時刻までの降雨量	0 mm/h	339mm (14日7:00発生と想定)	314mm	401mm	
	災害発生時刻における 一時間降雨量	0 mm/h	87mm/h	91mm/h	0mm/h	
	先行降雨	なし 13日に4mm 降雨の影響なし	多い 12日から13日にかけて250mm	少ない 19日に49mm、 それ以前4日間は降雨なし	多い 災害4日前より降雨が継続	
	斜面崩壊	崩壊形態	深層崩壊	地すべり前面の深い崩壊	複合すべり・深層崩壊	複合すべり・深層崩壊
	崩壊跡形状	すり鉢状(崩壊土残留有)	すり鉢状(崩壊土残留有)	すり鉢状(崩壊土残留有)	すり鉢状(崩壊土残留有)	
	崩壊幅	200m	165m	70m(中央部)100m(崩壊部法先)	80m	
	最大斜面崩壊長	700m	60m	170m	190m	
	最大深さ	25m	40m(すべり面までの深さ)	20m	30m	
	面積	約16万平方m	0.9万平方m	1万平方m	1万平方m	
	崩壊土量	全体土量 50万立方m 流出土量 40万立方m 残留土量 10万立方m	6.6万立方m	全体土量 8万立方m 流出土量 5.6万立方m 残留土量 2.4万立方m	13万立方m	
	崩壊部斜面からの湧水	なし	あり(パイピング孔認め)	あり	あり	
	崩壊前傾斜	35°	30~40°	32°(中央部平均勾配)	25°	
	基盤岩	先阿蘇火山岩類(安山岩、火砕岩)	筑後変成岩類(難透水性)	凝灰角礫岩(難透水)	凝灰角礫岩(難透水)	
	表層土	火山灰質粘性土・黒ぼく (層厚:1~10m)	火山灰層層厚:1~3m, 風化石礫	安山岩質風化土(層厚:1~4m)	風化安山岩(層厚:5~7m)	
	植生	人工林 針葉樹 ヒノキ	人工林 針葉樹 竹林 杉、崖上は茶畑	人工林 針葉樹 ヒノキ(上部)、杉(下部)	自然林 広葉樹 アカシア、シイ、カン類、タブノキ	
	その他		背面に地すべり地形が控える		断層がある可能性あり	
土石流・ 長距離土 砂移動	起因	山腹における斜面崩壊	地すべり先端部の斜面崩壊	山腹における斜面崩壊	山腹における斜面崩壊	
	流下経路	溪流なし		山間部溪流	山間部溪流	
	土石運搬溪流	溪流名		笠原川	集川	針原川
		流域面積			-	1.55平方km
		川幅			20~30m	-
		平均勾配	25°		流下河道:14° 治山ダム(第三)より下流:9° 堆積域:5°以下	流下河道:10° 堆積域:3°
	崩壊地点最高部から 集落までの距離	300m		1.7km	1.9km	
	崩壊地点最高部から 集落までの標高差	350m		350m	180m	
	平均的流域幅	200m		100m	70m	
	推定時速			治山ダム(第三)上流60km/h 治山ダム(第三)下流45km/h	-	
対策ダム	砂防ダム	0基			1基	
	治山ダム	0基		3基	0基	
その他	砂礫型・岩石雪崩	崩壊土砂、立木は大部分が流出		巨礫が多い	流域にため池あり	

4. 過去の土砂災害との比較

本章では、図一1で紹介した深層崩壊に着目し、過去に九州地方で発生した深層崩壊との比較を行う。比較対象としたのは、1997年に鹿児島県出水市針原川で発生した深層崩壊³⁾、2003年に熊本県水俣市宝川内地区で発生した深層崩壊⁴⁾及び2012年福岡県八女市田代地区で発生した深層崩壊⁵⁾である。表一2に発生条件、崩壊斜面の規模及び移動土砂の特徴などをまとめている。過去の3つの深層崩壊は、降雨を誘因としており、最大時間雨量が80 mm/h程度と極めて大きな降雨条件で発生している。一方、熊本地震によって南阿蘇村立野地区で発生した深層崩壊は、先行降雨の影響はほとんどなく、地震動による外力によって生じている。すべての崩壊形状は、すり鉢状の崩壊形状を示し、崩壊面に土砂が残留していることが観察されている。崩壊面よりも上の土砂は、すべての現場において風化の程度が大きいことも特徴であ

る。降雨を誘因とする深層崩壊の基盤岩は、全て難透水性の岩盤であり、降雨による水の浸透が遮られ、地下水位面を形成しやすいことが分かる。崩壊形状や崩壊土砂量を比較すると、降雨による深層崩壊の最大深さが20~40mと同様に、熊本地震による深層崩壊も最深部で25mであった。しかしながら、崩壊幅は、地震を誘因としたものが200mと降雨を誘因としたものよりも大きかった。一般的に、地震を誘因とする斜面崩壊の幅が降雨を誘因とする斜面崩壊よりも大きいことが知られている。また、崩壊土砂量は、熊本地震によるものが50万m³と最も大きいのが特徴であるが、崩壊した土砂はそのまま黒川に流入している。1997年に鹿児島県出水市針原川と2003年に熊本県水俣市宝川内地区で発生した深層崩壊では、崩壊土砂に降雨と渓流水が加わって土石流化し、2km程度流下したことも違いとして挙げられる。九州は過去の発生事例から、深層崩壊が特に発生頻度が高い地域⁶⁾といわれているため、データの収集と深

層崩壊の発生メカニズムの検討につなげていく必要がある。

5. 斜面災害地盤の土質・水理学的特性

本章では、図一2で紹介した高野台地区で発生した地すべり性崩壊個所で採取した試料の土質特性を紹介する。採取地点においては、上層から赤ぼくと黒ぼくの互層が8m程度堆積し、その下に1mの白色のローム層（以下、白ロームとよぶ）、その下に20cm程度のオレンジ色を示す草千里ヶ浜火山降下軽石（以下、降下軽石とよぶ）、その下に難透水性で褐色の硬質な火山灰（以下、硬質火山灰とよぶ）が堆積していた。試料採取地点では、降下軽石層がすべり面となっていた。試料の物理試験と粒径加積曲線をそれぞれ表一3と図一3に示す。赤ぼく、黒ぼく及び硬質火山灰の含水比は、100%を超えるなど高含水比状態であった。また、降下軽石の含水比も92%程度であり、高含水比状態であった。白ロームの含水比は、採取試料の中では、68%と最も低い含水比状態であるが、液性限界の66%を超えるなど非常に流動しやすい状態にあるといえる。粒度分布に着目すると、黒ぼく、硬質火山灰及び白ロームは細粒分が多く粒径幅が広い分布となった。降下軽石は、指で押すと粒子破砕することから、通常の粒度試験を実施することが困難であったため、粒度試験前にいったん炉乾燥させて団粒化した状態で粒度試験を実施した。粒子破砕する前の降下軽石の粒度は、粗粒分が多い結果となった。採取した試料の塑性図を図一4に示す。赤ぼく、黒ぼく、白ローム及び硬質火山灰は、塑性図ではMHに分類されるが、工学分類では、火山起源で火山灰質粘性土なので、黒ぼくはOV、赤ぼくと硬質火山灰はVH2、白ロームはVH1になった。

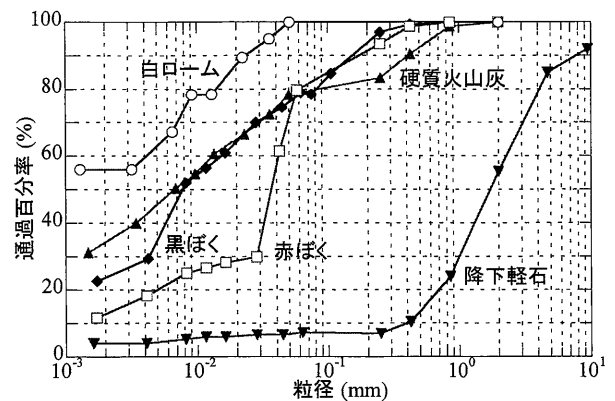
6. まとめ

熊本地震で発生した斜面災害は、火山性の地形・地質・地盤で発生した地震動による斜面崩壊であるということができ、以下のような特徴を有する。

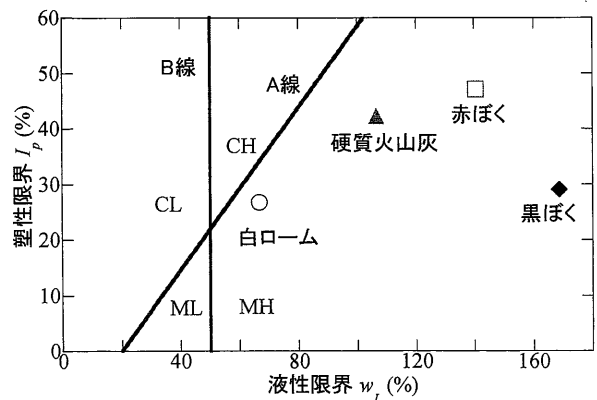
- 降雨では谷部の斜面において崩壊が発生するのに対して、地震動の集中・増幅により尾根部において表層崩壊が発生した。特に、烏帽子岳周辺では、同時多発的な表層崩壊が複数発生した。
- 中国四川大地震と同様に、岩盤の崩壊や落石が発生した。特に、黒川・白川のV字溪谷の周辺が広域的に崩壊した。
- 火山灰質地盤は単位体積重量が小さいため、崩壊土砂の移動距離が大きくなる傾向になるが、地震直後は渇水期だったため土石流化した事例は、山王谷川で発生した土石流のみと少なかった。しかしながら、梅雨時期の降雨により、崩壊土砂の移動が発生した。
- 東日本大震災の福島県白河市葉ノ木平で発生した崩壊性地すべりに類似した、緩い斜面が地震動による火山灰質地盤の強度低下に起因して大規模な地すべり性の斜面崩壊が発生した。

表一3 高野台地区の粒度特性

名称	含水比 (%)	コンシステンシー (%)			密度 (g/cm ³)
		w _p	w _L	I _p	
赤ぼく	106.7	93.3	140.5	47.1	2.481
黒ぼく	122.0	139.6	168.6	29.1	2.384
白ローム	68.6	39.9	66.7	26.8	2.676
降下軽石	92.3				2.467
硬質火山灰	105.6	64.2	106.4	42.2	2.846



図一3 高野台地区の粒径加積曲線



図一4 高野台地区の塑性図

参考文献

- 1) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：平成28年(2016年)熊本地震の評価(平成28年5月13日), pp. 11~12, 2016.
- 2) Nakamura, S. et al.: Earthquake-induced landslides: Distribution, motion and mechanisms, Soils and Foundations, Vol. 54, No. 4, pp. 544-559, 2014.
- 3) 地盤工学会出水市針原川土石流災害緊急調査団：鹿児島県出水市土石流災害速報, 土と基礎, Vol. 45, No. 10, pp. 38~39, 1997.
- 4) 土木学会・地盤工学会九州地方豪雨災害合同調査団：2003年7月梅雨前線による九州地方の暴雨災害調査報告書, 2003.
- 5) 地盤工学会九州北部土砂災害調査団：平成24年7月九州北部豪雨による土砂災害調査報告書, 2012.
- 6) 国土交通省河川局 砂防部：深層崩壊推定頻度マップ, 入手先 <<http://www.mlit.go.jp/common/000121614.pdf>> (参照 2016.12.27)

(原稿受理 2016.12.27)