

7. 土砂災害

7.1 概要

7.1.1 土砂災害の概要

強い揺れを観測した益城町、西原村、南阿蘇村、阿蘇市等を中心に、多数の崩壊が発生した（図-7.1.1）。これらの崩壊や土砂流出による土砂災害の発生件数は、9月14日現在で190件に達し、死者15名¹⁾（6月の梅雨前線豪雨の土砂災害による関連死5名を含む）の被害が生じている。

国総研土砂災害研究部と土研土砂管理研究グループは、前震発生直後の平成28年4月15日から現地調査に着手し、16日の本震発生直後には、直ちにヘリコプターによる土砂災害の全容把握を行うとともに、4月下旬から5月上旬にかけて、土砂災害の被害が顕著な地域における現地調査を実施した（図-7.1.1）。

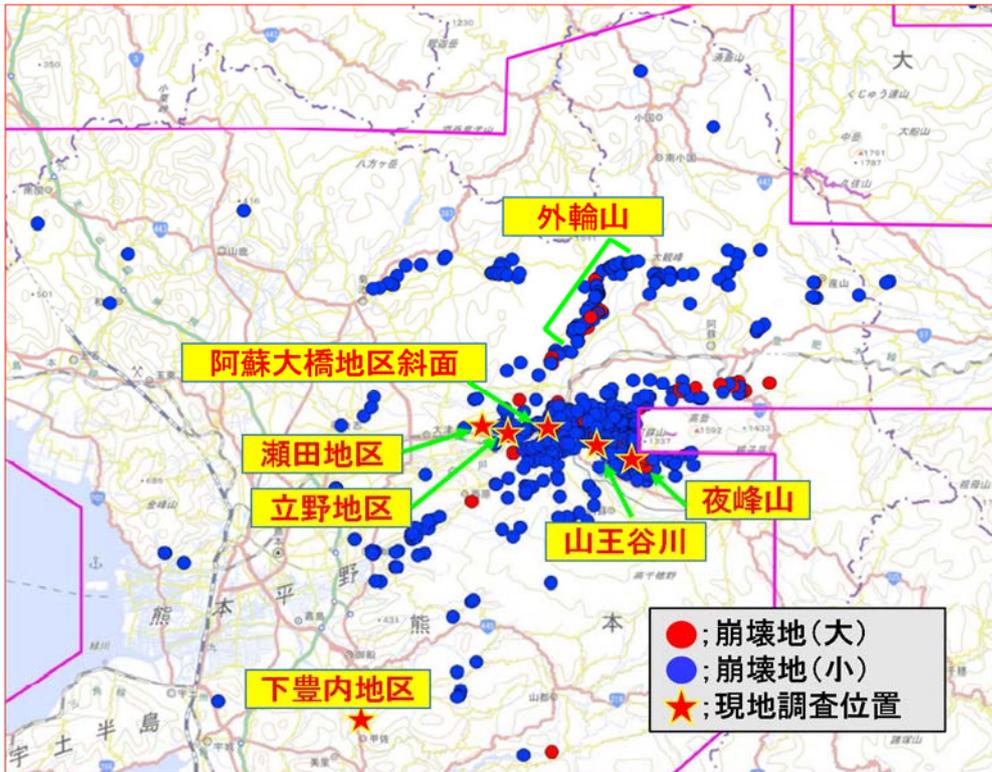


図-7.1.1 崩壊発生位置と現地調査実施箇所（国土地理院資料³⁾に加筆）

熊本地震による土砂災害の特徴は、国総研や土研が実施した現地調査や砂防学会による緊急の現地調査結果から以下の①～③に要約され¹⁾²⁾、阿蘇山周辺の限られた範囲内でも異なる現象が見られる。これは、崩壊発生箇所の地質や地形条件が、火山活動の年代の違いを反映し、大きく異なるためと考えられる。

- ①外輪山西～北部のカルデラ壁急斜面における崩壊の多発。この中には大規模な崩壊の発生も見られる（阿蘇大橋付近の斜面等）。

②内輪山（中央火口丘）西側斜面周辺における緩勾配斜面の崩壊や地すべり（高野台地区など）の発生。

③内輪山周辺では崩壊が多発し、一部の流域では、崩土が流動化し土石流となり下流まで流出。

また、地震後、平成28年4月下旬～6月下旬にかけて、降雨により、地震時に生じた崩壊地における拡大崩壊や地震時に崩壊が発生した流域からの土砂流出が多発した。特に南阿蘇村立野地区や瀬田地区、夜峰山周辺では、既崩壊地の拡大崩壊が顕著であり、流下した崩土や土石流化した土砂により、家屋や道路、鉄道へ被害を与えた。また、本震に伴う土砂流出後、除石が行われた河道に再度土砂が堆積し、氾濫した事例も見られた。

さらに、外輪山のカルデラ壁や中央火口丘周辺には多数の亀裂が確認されており、今後の降雨によっては、新たな崩壊や既崩壊地における拡大崩壊の発生が懸念される。このほか、流域内には大量の不安定土砂や流倒木が残存していると考えられ、土石流等、新たな土砂流出の発生も懸念される。そのため、二次的な土砂災害の発生に対して継続した監視が必要である。

本章では、このように、地震やその後の降雨による崩壊・土砂流出現象の概要、現地調査結果の概説、また九州地方整備局や被災自治体への支援活動の状況を紹介する。

7.1.2 地震動と崩壊特性

(1) 地震動と崩壊特性

これまで中山間地を震源とした内陸直下型の地震が発生すると、多数の崩壊が発生し深刻な被害が引き起こされており、平成28年熊本地震においても、阿蘇カルデラ内を中心に多数の斜面崩壊が発生した。そこで、崩壊地分布と加速度や断層との関係を概説する

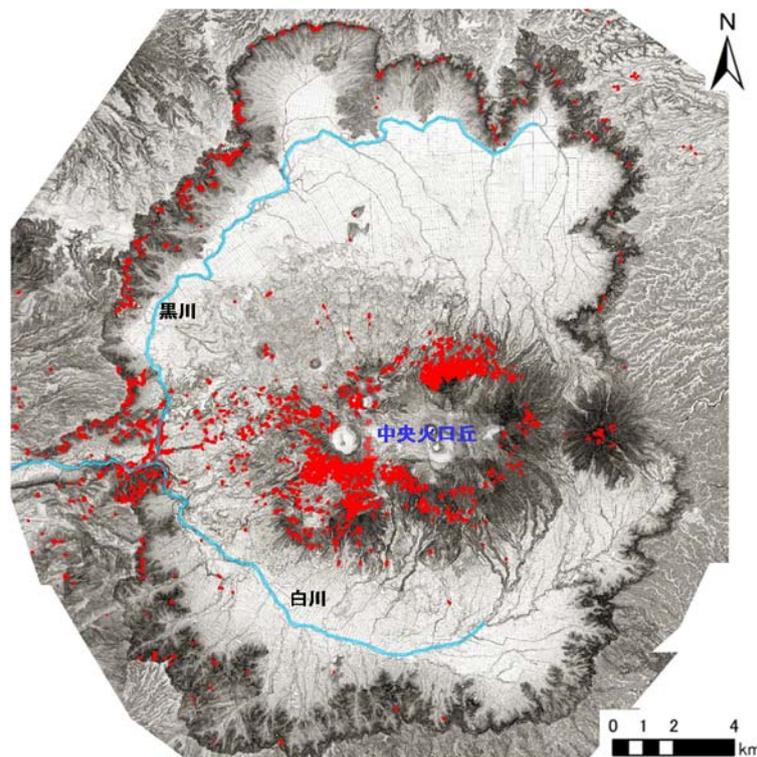


図-7.1.2 阿蘇カルデラ周辺の崩壊（赤色）発生状

とともに、過去の内陸直下型地震と崩壊の特徴について比較を行った。

本震発生後の阿蘇外輪山内における崩壊発生状況を図-7.1.2 に示す。崩壊地は本震発生直後に撮影された航空写真（撮影日：平成 28 年 4 月 16 日、撮影実施機関：株式会社パスコ・国際航業株式会社共同、縮尺：1/10、000）を用いて目視判読した結果（九州地方整備局提供データを活用）であり、1,850 箇所の崩壊地を抽出した。図-7.1.2 に示すように、崩壊地は中央火口丘周辺斜面、カルデラ壁の斜面に集中している。特にカルデラ壁西側斜面から北西側斜面において、集中的に斜面崩壊が発生した。

また、図-7.1.3 では、K-net および Kik-net の地震計によって 4 月 16 日の本震時に観測された加速度データを元に、加速度分布図上に崩壊発生状況を重ねた。震源から北東にのびる活断層の延長線上に多数の崩壊が発生しており、阿蘇カルデラ内の崩壊地は概ね加速度が 400~600gal の領域に位置した。

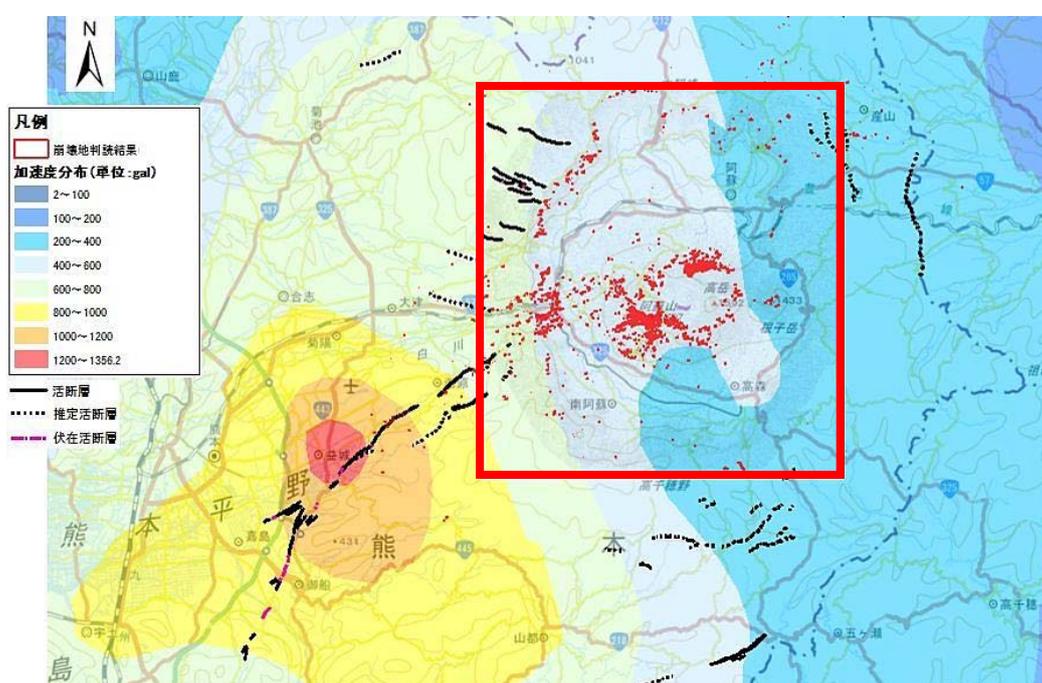


図-7.1.3 活断層位置、加速度分布と崩壊地分布（赤い点）の状況

さらに、近年の斜面崩壊が多く発生した中山間地域を震源とする内陸直下型地震による斜面崩壊の発生状況と比較を行った（図-7.1.4）。ここでは、空中写真判読に基づき崩壊地の特定を行った結果を用いた。対象範囲の面積は、地震によって異なるが、170~800km²の範囲である。

図-7.1.4 に示したように、熊本地震の崩壊地数は、中越地震に比べるとかなり少ないものの、兵庫県南部地震や岩手内陸地震に近い崩壊が発生している。一方、面積 1ha 以上の大規模崩壊地の数は中越地震や岩手宮城地震に比べると顕著に少なく、長野県西部地震に近い。

また、熊本地震の全崩壊地、大規模崩壊地の密度は中越地震や大規模崩壊地密度の大きい岩手宮城内陸地震に比べて小さく、長野県西部地震と同程度であり、鳥取県西部地震や中越沖地震に比べて大きい。

以上より、熊本地震では、内陸直下の逆断層による中越地震や岩手宮城内陸地震より

崩壊地の数は少ないが、横ずれ断層の地震としては、長野県西部地震と並んで、近年の地震の中でも数多くの崩壊や大規模崩壊が発生した事例と言える。今後は、地震による斜面崩壊による被害軽減に活用できるように断層のタイプや地形・地質が斜面崩壊に及ぼす影響をより定量的に検討していく必要がある。

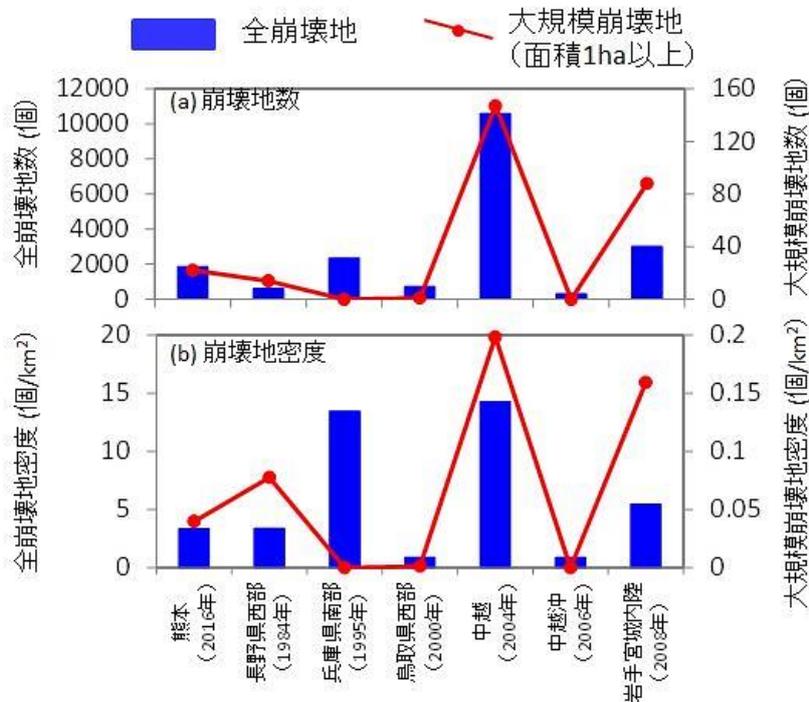


図-7.1.4 内陸直下型地震による斜面崩壊の数と密度

(2) 地震時斜面崩壊危険度評価システムの適用結果

国総研では、兵庫県南部地震時の六甲山系の斜面崩壊分布に関するデータを解析し、地震時の斜面崩壊の素因として傾斜角・平均曲率、誘因（地震動）として最大加速度を説明変数に用いて、(1)式に示すように地震時の斜面崩壊の相対的な発生危険度を評価する手法を提案している¹⁾。

$$F[\text{判別得点}] = 0.075 \times [\text{勾配} (\text{°})] - 8.9 \times [\text{平均曲率}] + 0.056 \times [\text{最大加速度} (\text{cm/s}^2)] - 3.2 \dots (1)$$

地震発生後、崩壊発生危険度の高い地域を抽出し、要点検箇所との把握の参考とするため、この評価手法を熊本地震に適用した。また適用結果と実際の崩壊地分布を比較し、手法の適用性の検証を行った。図-7.1.5には、危険度評価の結果と実際の崩壊地の分布を示す。

ここで、勾配や平均曲率の地形データは、地震後に九州地方整備局が取得した航空レーザ計測データから作成した10mメッシュの地形データを使用し、最大加速度は、本震時の国立研究開発法人防災科学技術研究所のK-net、Kik-netデータ、気象庁のデータ²⁾を用いた。計算メッシュ毎に判別得点が高いメッシュほど暖色系で示し、航空写真から判読した実際の崩壊地を赤点で示している。なお、凡例に示した危険度の分類は国総研資料¹⁾に基づく。

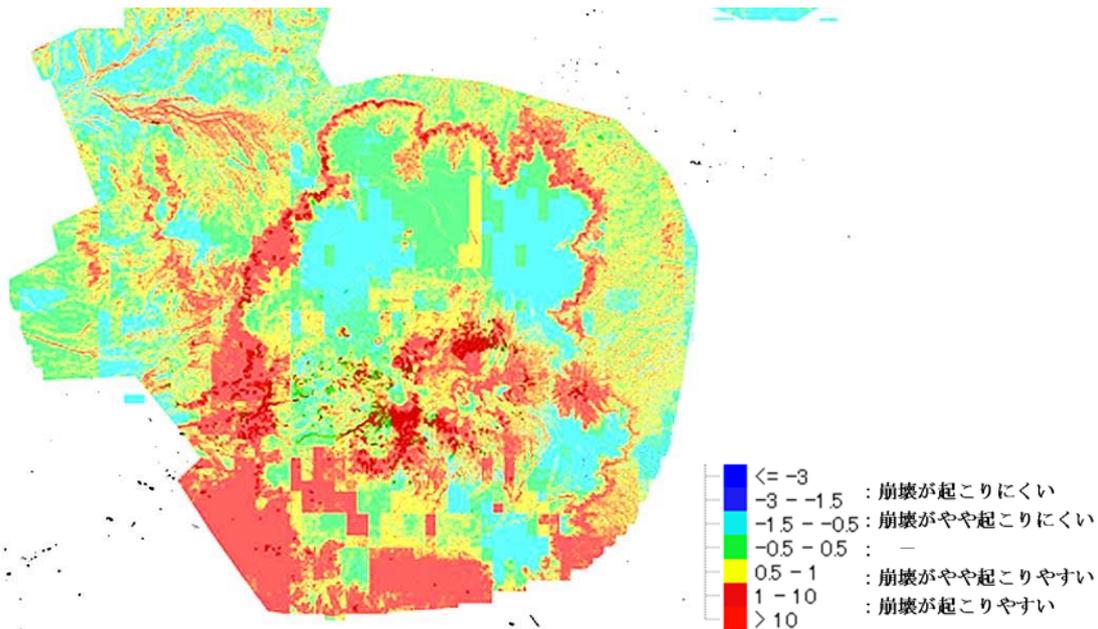


図-7.1.5 危険度評価と実際の崩壊地の分布の比較

図-7.1.5から、崩壊が多く発生した外輪山のカルデラ壁西部～北部、および中央火口丘西側と北側斜面では、危険度評価手法の判別得点も高く、崩壊分布と危険度評価は、概ね整合する結果が得られた。一方、崩壊の発生が少ない外輪山カルデラ壁東部から南部、また外輪山外側斜面でも判別得点が高い結果が得られた。これは、震源から遠く加速度は相対的に低い、勾配が急なため、高い得点となったことが要因と考えられる。

(3) 崩壊地分布把握におけるSAR画像の適用

熊本地震では、発災後短時間で地方整備局の防災ヘリコプターによる調査¹⁾や、国土院による斜め写真や正射画像²⁾の撮像が行われるなど、目視や光学画像を用いた被害状況の把握が迅速に行われた。これに加え、近年、災害時の迅速な被害状況把握において活用が期待されている合成開口レーダ（Synthetic Aperture Radar:以下「SAR」という）を搭載したプラットフォームによって、高頻度に面的な画像取得がなされた。そこで、地震後の主なSARセンサによる観測状況と、本震により発生した主な土砂移動箇所の視認性について、以下に記す。

1) 地震後のSARセンサ観測状況

国内機関が保有する主なSARによる前震から本震後3日までの観測状況を表-7.1.1に示す。（国研）宇宙航空研究開発機構の陸域観測技術衛星2号「だいち2号」（以下「ALOS-2」という）に搭載されたPALSAR-2センサにより高頻度に観測が行われるとともに、（国研）情報通信研究機構により航空機搭載SARであるPi-SAR2の観測が行われた³⁾。

表-7.1.1 SAR観測状況

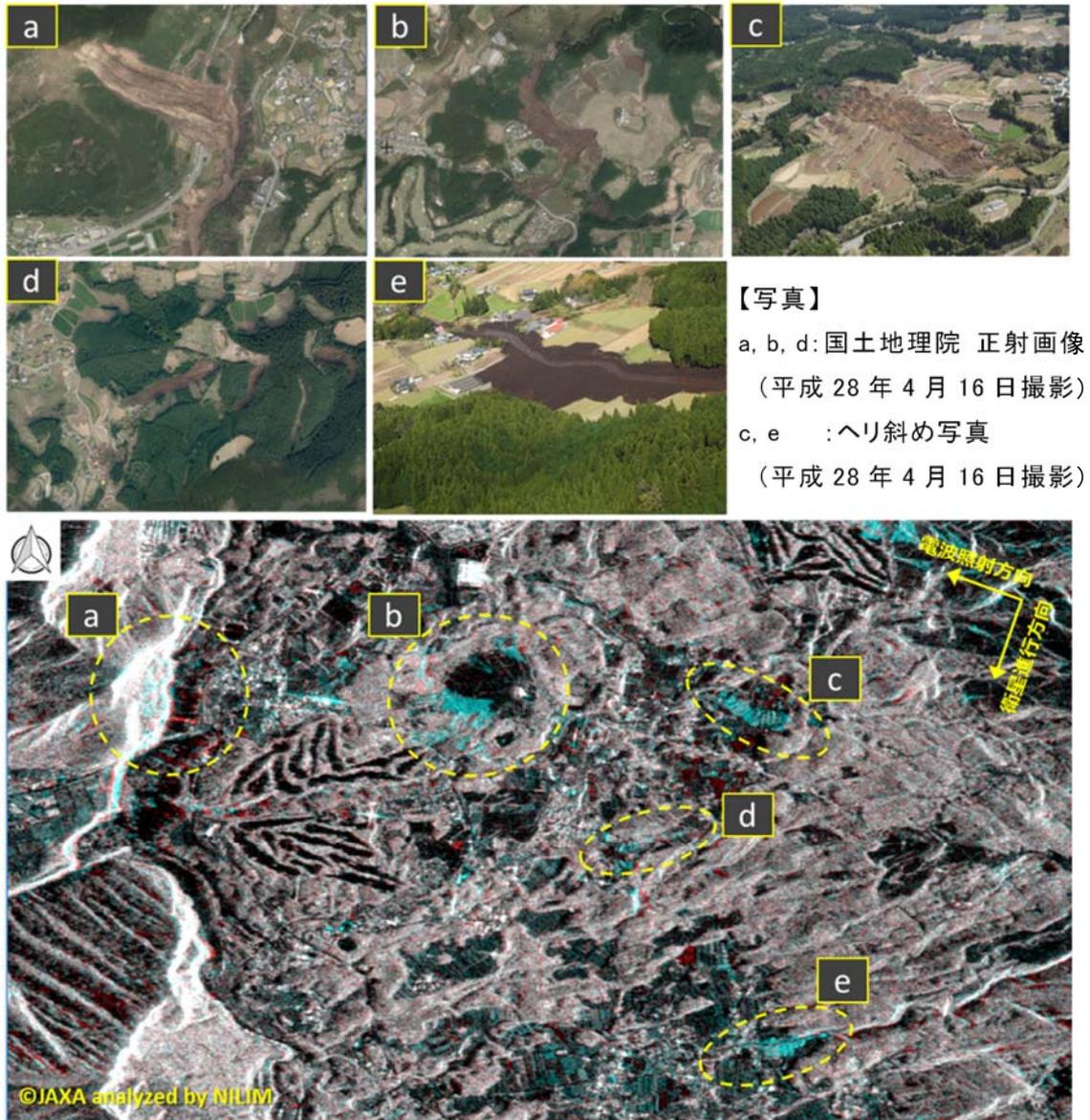
月日	時間(JST)	主な地震	観測センサ
4月14日	21:26	前震(最大震度7)	
4月15日	12:53頃		ALOS-2/PALSAR-2
	23:43頃		ALOS-2/PALSAR-2
4月16日	1:25	本震(最大震度7)	
	13:12頃		ALOS-2/PALSAR-2
4月17日	0:04頃		ALOS-2/PALSAR-2
	8:15～(約2時間)		Pi-SAR2
	11:57頃		ALOS-2/PALSAR-2
4月18日	0:25頃		ALOS-2/PALSAR-2
	12:17頃		ALOS-2/PALSAR-2

2) 崩壊箇所におけるSAR画像の視認性

(a) 人工衛星搭載SAR

4月16日の本震以降に発生が確認されている主な土砂災害箇所について、本震前後の2時期（本震前：平成28年3月7日、本震後：平成28年4月18日）に観測された、ALOS-2のHH偏波強度画像（分解能3m）から作成したRGBカラー合成画像（本震前：R、本震後：G、B）を図-7.1.6に示す。

この画像では、本震前よりも本震後の画像が暗くなったところ（電波の後方散乱強度が減少）が赤く、明るくなったところ（電波の後方散乱強度が増加）は青く表現される。図-7.1.6の土砂災害箇所（a-e）を見ると、土砂移動範囲は概ね面的に青く表現され、地震後に電波の後方散乱が強くなり、画像が明るくなったことが分かる。電波の後方散乱強度は、地物に対し電波が入射する角度や地物の材質、凹凸等によって異なるため、土砂移動範囲が一様に青く表現されているとは言えないが、土砂移動により土地の被覆や凹凸などが変化したことで、地震前後の電波の後方散乱に変化があったものと考えられる。このように、同じ条件で観測された2時期のSAR強度画像をカラー合成して判読することで、画像が取得された2時期間に土地被覆が変化した箇所を把握することができ、地震後の土砂移動箇所の判読が比較的容易となる。なお、SAR強度画像には2時期間に見られる土砂移動以外の土地被覆の変化（水田の稲の生育状況や人工的な土地改変など）も赤または青に表現されるため、判読時には留意する必要がある。また、電波照射方向に正対する図-7.1.6(a)の阿蘇大橋地区崩壊斜面では、SAR画像特有の幾何学的な歪みによって、地物が電波照射方向に短く見えるフォアショートニングや、倒れ込んで見えるレイオーバが発生し、判読が困難であった。このように、土砂災害の規模が比較的大きい場合でも、電波照射方向に対する斜面向きや勾配によっては、判読が難しく、情報が十分に取得できない場合もある。そのため、衛星SARを用いた面的な土砂移動箇所の把握においては、斜面に対し両方向からの照射画像を取得することが望ましいと考える。



【写真】
 a, b, d: 国土地理院 正射画像
 (平成 28 年 4 月 16 日撮影)
 c, e : ヘリ斜め写真
 (平成 28 年 4 月 16 日撮影)

図-7.1.6 主な土砂移動箇所における衛星SAR画像（カラー合成画像）と光学画像

(b) 航空機搭載SAR

本震翌日の4月17日午前にPi-SAR2観測が実施され³⁾、同日中に（国研）情報通信研究機構より画像提供を受けた。4月16日時点で、阿蘇中岳や烏帽子岳周辺において国土地理院による正射画像は取得されていない²⁾。このため、流域源頭部の面的な土砂移動の把握には、ヘリコプターによる目視調査に加え、Pi-SAR2のSAR強度画像を参考とした。取得されたPi-SAR2画像（複偏波画像）例と同箇所の光学画像を図-7.1.7に示す。SAR強度画像からは、植生に覆われた斜面（緑色）が崩壊によって裸地化した箇所（赤紫色）、道路等の人工構造物を判読することが出来た。Pi-SAR2で撮像された画像は分解能30cmと高分解能であるため、(a)人工衛星搭載SARで取得された画像と比べると、より詳細な土地被覆状況の把握が可能であった。ただし、災害後に観測されたSAR強度画像のみ用いて判読する場合は、災害前からある裸地も赤紫色に見えるため、本震による土砂移動箇所かどうかは、本震前の光学画像等で確認することが重要である。

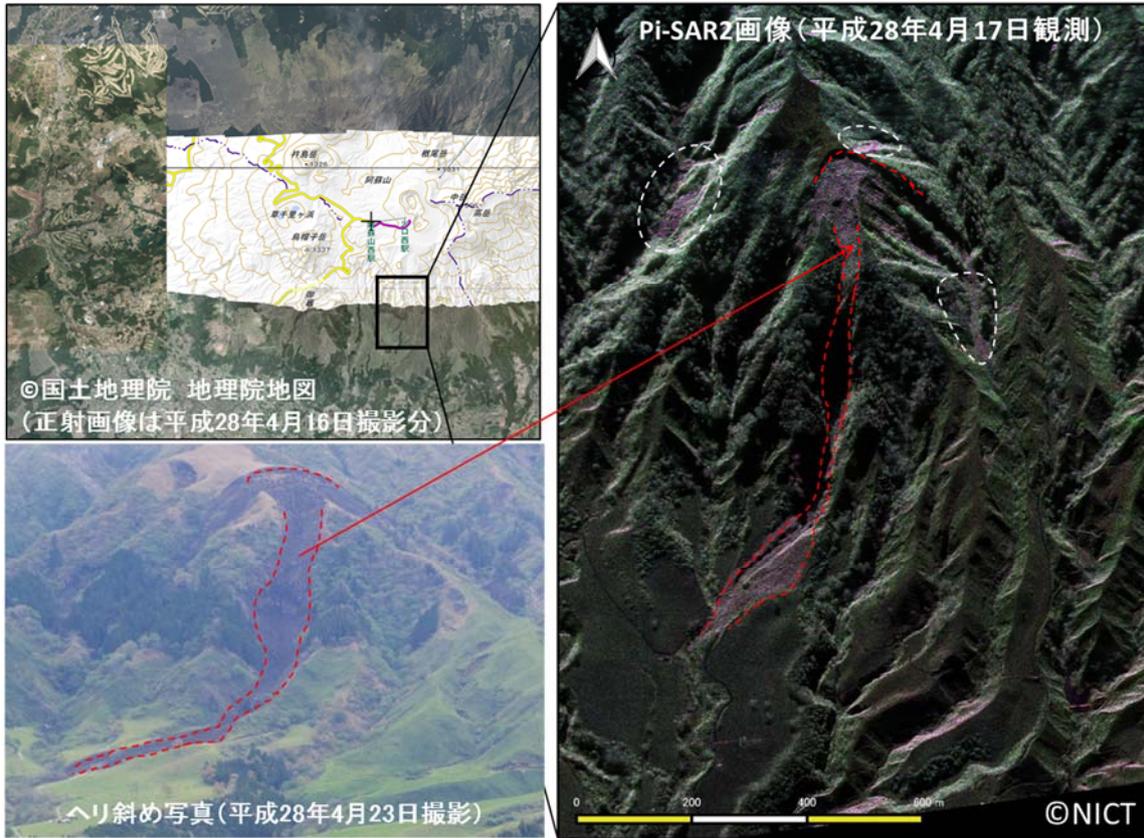


図-7.1.7 Pi-SAR2画像例

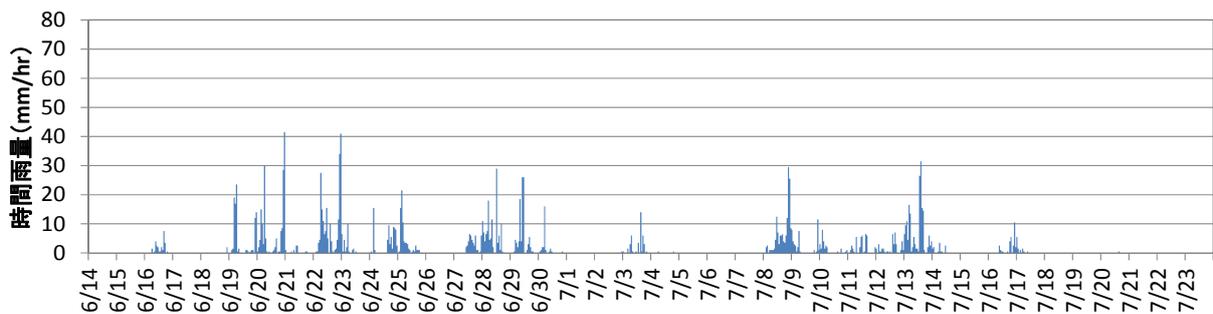
(破線は土砂移動箇所：情報通信研究機構のPi-SAR2画像データに加筆)

7.1.3 地震後の降雨による崩壊の拡大

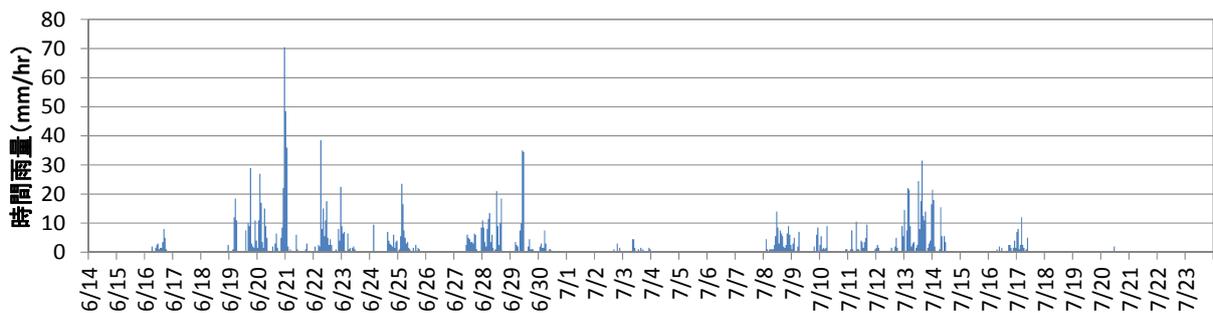
大規模な地震が発生した場合、地盤の緩み等が生じ、一般的には通常よりも小さい降雨で土砂移動現象が発生しやすいとされている。しかしながら、地震後の降雨と土砂移動現象の関係を整理した事例は少なく、今後事例を蓄積して検証する必要がある。そこで、本節では、地震後の降雨による崩壊等の検討における知見として、地震後の降雨の状況を記録することを目的に降雨データの整理・分析を行った。

(1) 対象箇所

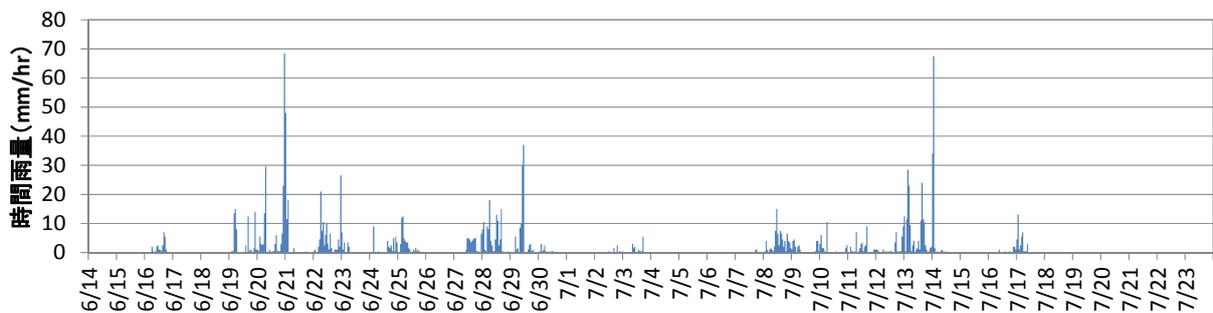
阿蘇山周辺では、平成28年6月19日以降に大雨を複数回経験しており、特に6月20～21日では記録的な大雨となった（図-7.1.8、図-7.1.9参照）。これらの降雨による新規崩壊や拡大崩壊等の発生箇所を推定するため、ALOS-2の衛星SAR画像（6月13日、6月27日、7月25日）および国土地理院のオルソ画像（4月20日、5月30日、5月31日、7月5日～24日）を確認した。その結果、図-7.1.10に示す11メッシュの5kmメッシュ内で6月20日以降の大雨によって新規崩壊や拡大崩壊等が発生していると推定されたため、これらの箇所を本節での降雨分析の対象箇所とした。



(a) 阿蘇乙姫



(b) 阿蘇山



(c) 南阿蘇

図-7.1.8 阿蘇山周辺のアメダス観測所のハイエトグラフ（6月14日～7月23日）

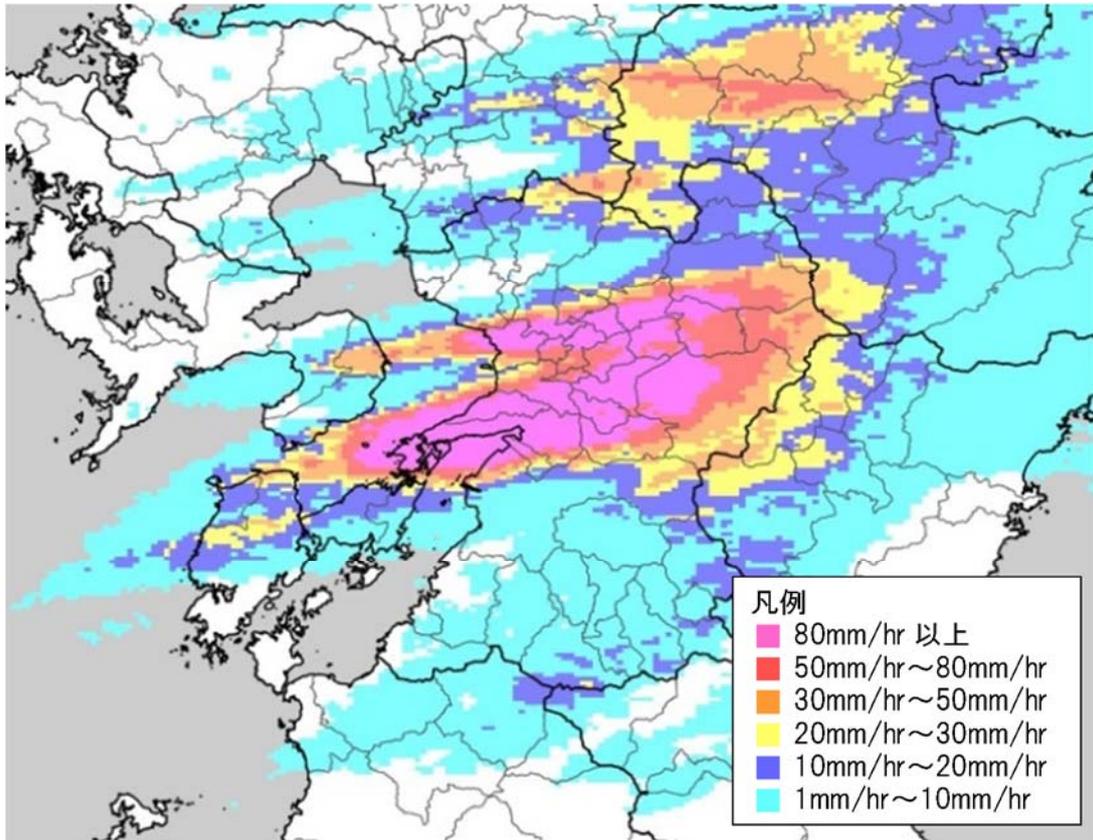


図-7.1.9 解析雨量による時間雨量分布図の代表例 (6月21日0時)

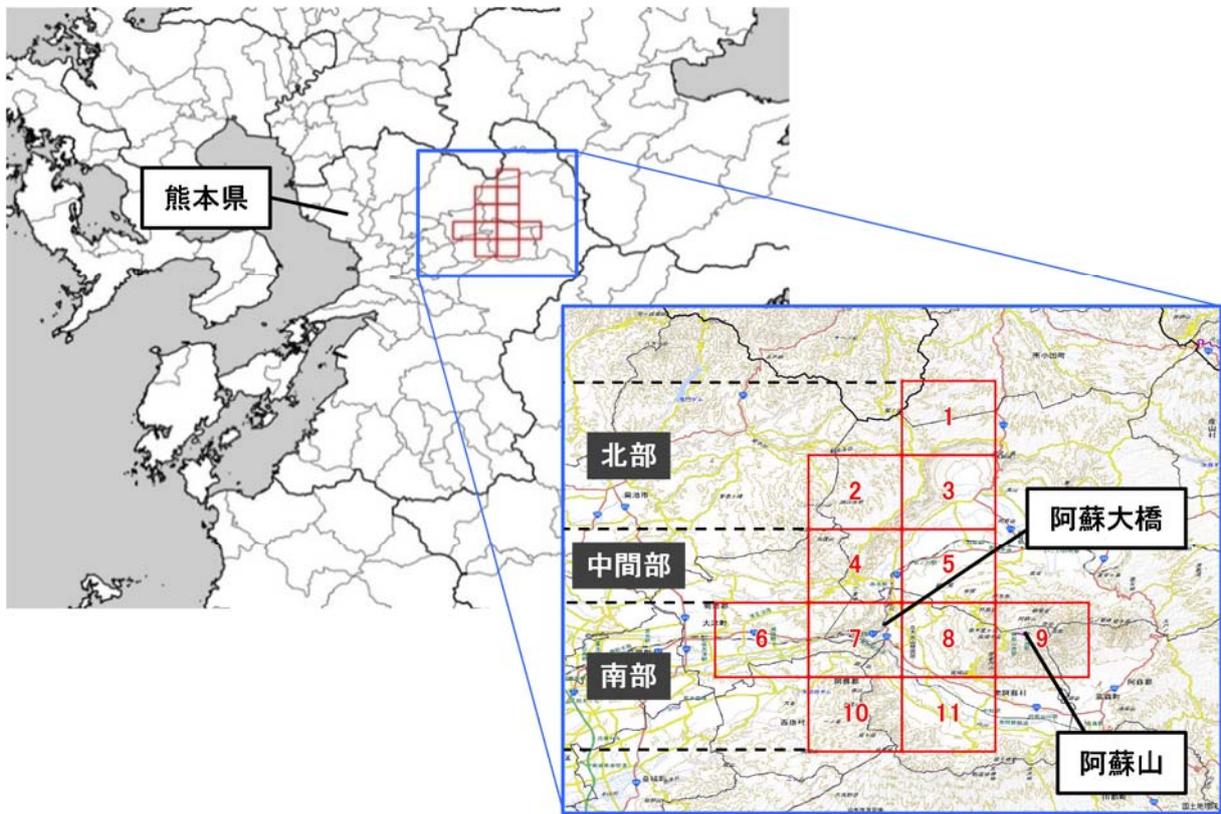


図-7.1.10 降雨分析の対象箇所

(2) 降雨データの整理

降雨指標は、土砂災害警戒情報の発表基準に多く用いられている連携案方式で使用される60分間積算雨量および土壌雨量指数の2指標とした（現在、熊本県ではAND/OR方式で運用）。降雨データは、気象庁の解析雨量および土壌雨量指数（1988年～2016年の29年間）を用い、時空間精度を統一するため、すべて5kmメッシュ単位、正時単位で整理した。なお、これら2指標の値は、観測値・計算値だけでなく相対値として履歴順位（降雨イベントまでの一連降雨の大きさの順位）も算出した。一連降雨は、「前後に24時間以上の無降雨期間（1mm/hr未満を無降雨と判断）があるひとまとまりの降雨」を条件として算出した。

(3) 降雨指標の算出結果

1) 6月14日～7月23日の降雨（新規崩壊や拡大崩壊等の要因と推定される降雨）

6月14日～7月23日の対象箇所での降雨状況について表-7.1.2に整理した。この結果より、6月21日の降雨、6月22日～23日の降雨が特に大きいことが確認された。なお、降雨状況の詳細は以下のとおりである。

(a) 時間雨量

対象箇所の北部では、6月22日～23日の降雨が最大であり、大きさは概ね50～60mm/hr、履歴順位から見ても数年に1回程度発生する降雨規模であった。一方、対象箇所の中間部から南部では、6月21日0時頃に概ね90～110mm/hrの非常に強い降雨が観測されており、特に南部では履歴順位1位となっていた。これらの状況から、対象箇所では、数年に1回程度発生する大雨よりも大きな規模の降雨が観測されていたが、南北方向に大きな差があり、特に南部ではこれまでに経験したことの無いような短時間豪雨であったことが確認された。

(b) 土壌雨量指数

対象箇所の北部と南部では、土壌雨量指数が最大となった時刻が北部で6月23日0時、南部で6月21日1時頃と異なるものの、土壌雨量指数の最大値は概ね250mm～300mmであり、履歴順位3位前後の大雨であった。対象箇所の中間部では、6月21日、22日～23日の降雨の外縁部付近に位置していたため、その他の地域よりも土壌雨量指数が少し小さくなっている。

表-7.1.2 時間雨量および土壌雨量指数の最大値と履歴順位（6月14日～7月23日）

対象地域	No	Code	時間雨量			土壌雨量指数		
			最大値 (mm/hr)	履歴 順位	時刻	最大値 (mm)	履歴 順位	時刻
北部	1	33310000	65	7	2016/6/22 11:00	270	3	2016/6/23 0:00
	2	32301915	57	16	2016/6/22 12:00	270	5	2016/6/23 0:00
	3	32311900	49	21	2016/6/23 0:00	255	5	2016/6/23 0:00
中間部	4	32301815	86	3	2016/6/21 0:00	245	9	2016/6/23 0:00
	5	32311800	90	2	2016/6/21 0:00	230	12	2016/6/21 0:00
南部	6	32301714	110	1	2016/6/21 0:00	290	3	2016/6/21 1:00
	7	32301715	106	1	2016/6/21 0:00	295	3	2016/6/21 1:00
	8	32311700	97	1	2016/6/21 0:00	310	1	2016/6/21 1:00
	9	32311701	92	1	2016/6/21 1:00	295	3	2016/6/21 2:00
	10	32301615	91	1	2016/6/21 0:00	280	3	2016/6/21 1:00
	11	32311600	89	1	2016/6/21 1:00	270	2	2016/6/21 1:00

2) 過去の豪雨との比較

阿蘇山周辺では、至近29年の間でも幾度か記録的な豪雨を経験している。そこで、解析雨量のデータが存在する期間で記録的な豪雨となった1990年豪雨（6月29日～7月2日）と2012年豪雨（7月12日～7月14日）の2降雨と2016年豪雨（6月20日～6月23日）の比較を行った。この結果より、2016年豪雨は、対象箇所の北部の場合、その他2豪雨よりも比較的小さな時間雨量、土壌雨量指数となる降雨であったこと、対象箇所の南部の場合、その他2豪雨よりも時間雨量が比較的大きく、土壌雨量指数は同程度となる降雨であったことが確認された。なお、降雨状況の詳細は以下のとおりである。

(a) 時間雨量

時間雨量の最大値と履歴順位の比較結果を表-7.1.3に示す。

1990年豪雨では、対象箇所の北部の方が時間雨量が大きく、概ね90mm/hrを記録していた。対象箇所の中間部から南部にかけては、北部よりも降雨規模は小さく概ね60mm/hr前後であった。

2012年豪雨では、対象箇所の北部や中間部の方が時間雨量が大きく、100mm/hrを超過するメッシュも見られた。また、対象箇所の南部でも概ね70～90 mm/hrを記録しており、全体的に時間雨量が大きい降雨であった。

対象3降雨を比較すると、2016年豪雨は、対象箇所の北部の場合、その他2豪雨よりも比較的小さな時間雨量となる降雨であったことが確認された。また、対象箇所の中間部では、時間雨量が2012年豪雨よりも少し小さいが1990年豪雨よりも少し大きいことが確認された。一方で、対象箇所の南部の場合、2012年豪雨よりも時間雨量が概ね10～20mm/hr大きいこれまでに経験したことの無いような短時間豪雨であったことが確認された。

表-7.1.3 時間雨量の最大値と履歴順位の比較

対象地域	No	Code	時間雨量最大値(mm/hr)			時間雨量履歴順位		
			1990年豪雨	2012年豪雨	2016年豪雨	1990年豪雨	2012年豪雨	2016年豪雨
北部	1	33310000	95	73	65	1	2	7
	2	32301915	90	102	57	3	1	16
	3	32311900	85	106	49	2	1	21
中間部	4	32301815	76	98	86	4	1	3
	5	32311800	69	112	90	8	1	2
南部	6	32301714	56	87	110	18	3	1
	7	32301715	68	84	106	9	2	1
	8	32311700	63	87	97	9	2	1
	9	32311701	56	85	92	15	3	1
	10	32301615	90	72	91	2	10	1
	11	32311600	54	68	89	16	5	1

(b) 土壌雨量指数

土壌雨量指数の最大値と履歴順位の比較結果を表-7.1.4に示す。

1990年豪雨では、対象箇所全体的に土壌雨量指数が大きく、11メッシュ中7メッシュで300mm以上を記録していた。

2012年豪雨も1990年豪雨と同様に、対象箇所全体的に土壌雨量指数が大きく、11メッシュ中8メッシュで300mm以上を記録していた。

対象3降雨を比較すると、2016年豪雨は、対象箇所の北部から中間部の場合、その他2豪雨よりも比較的小さな土壌雨量指数となる降雨であったことが確認された。一方で、対象箇所の南部の場合、その他2豪雨と概ね同等な豪雨であったことが確認された。

表-7.1.4 土壌雨量指数の最大値と履歴順位の比較

対象地域	No	Code	土壌雨量指数最大値(mm)			土壌雨量指数履歴順位		
			1990年豪雨	2012年豪雨	2016年豪雨	1990年豪雨	2012年豪雨	2016年豪雨
北部	1	33310000	330	280	270	1	2	3
	2	32301915	350	350	270	1	1	5
	3	32311900	330	360	255	2	1	5
中間部	4	32301815	300	370	245	2	1	9
	5	32311800	320	360	230	2	1	12
南部	6	32301714	240	310	290	8	1	3
	7	32301715	290	320	295	5	1	3
	8	32311700	270	310	310	3	1	1
	9	32311701	310	300	295	1	2	3
	10	32301615	350	260	280	1	8	3
	11	32311600	285	250	270	1	3	2

3) 4月15日～6月13日の降雨（地震後から新規崩壊や拡大崩壊等発生前の降雨）

4月14日の最大震度7の地震から新規崩壊や拡大崩壊等発生前について、対象箇所の降雨状況を表-7.1.5に整理した。この結果より、時間雨量および土壌雨量指数の最大値は、それぞれ概ね20～25mm/hr、100～120mmであり、地震後から新規崩壊や拡大崩壊等発生前の降雨は、この地域としては頻繁に起こり得る降雨であったことが確認された。

表-7.1.5 時間雨量および土壌雨量指数の最大値（4月15日～6月13日）

No	Code	時間雨量最大値 (mm/hr)	土壌雨量指数最大値 (mm)	No	Code	時間雨量最大値 (mm/hr)	土壌雨量指数最大値 (mm)
1	33310000	22	110	7	32301715	18	104
2	32301915	24	116	8	32311700	20	110
3	32311900	23	116	9	32311701	19	112
4	32301815	24	120	10	32301615	20	104
5	32311800	25	114	11	32311600	20	104
6	32301714	20	98				

(4) まとめ

阿蘇山周辺において、地震後に降雨によって新規崩壊や拡大崩壊等の発生が推定された箇所降雨状況について分析を行った。

その結果、新規崩壊や拡大崩壊等の要因と推定された降雨は、対象箇所の南部の場合、近年の豪雨よりも短時間雨量の大きいこれまでに経験したことの無いような豪雨であったことが確認された。したがって、これらの地域では、地震の有無に関わらず、土砂移動現象発生の危険性が高まっていたと推測される。

一方で、対象箇所の中間の場合、土壌雨量指数としては至近29年において数年に1回程度発生する頻度の降雨であると推定された。また、対象箇所の北部の場合、時間雨量と土壌雨量指数のどちらからでも、至近29年において数年に1回程度発生する頻度の降雨であると推定された。したがって、これらの地域では、過去の土砂移動実績等と比較することで、地震による土砂移動現象のポテンシャルの変化に関する知見が得られる可能性があると考えられる。

また、地震後から新規崩壊や拡大崩壊等が発生するまでの間は、頻繁に起こり得る降雨しか発生しておらず、土砂移動現象発生のポテンシャルの変化に関する知見は得られなかった。

本分析では、土砂移動現象が発生したと推定された箇所のみを対象としたが、土砂移動現象が発生していないことが確認された箇所があれば、それらの地域の降雨状況を分析することも重要と考えられる。

7.2 国総研および土研が実施した現地調査概要

4月16日の本震やそれ以降の降雨による土砂災害に対して、被害概要の把握や今後発生し得る土砂移動現象の推定、また九州地方整備局や熊本県、被災市町村が実施する応急対策の支援を行うため、国総研と土研が実施した現地調査の概要を紹介する。

7.2.1 本震発生後のヘリによる初動調査結果

4月16日の地震発生後に、8:30～10:10、13:50～16:30の2回にわたり、ヘリコプター（九州地方整備局はるかぜ号）からの目視調査を行った。調査は、図-7.2.1に示すとおり、外輪山カルデラ壁、中央火口丘斜面、外輪山外側斜面を調査した。調査結果は、外輪山カルデラ壁、中央火口丘斜面、外輪山外側斜面に分けて述べる。



図-7.2.1 ヘリ調査範囲（地理院地図に加筆）

(1) 外輪山カルデラ壁

- 地震の影響を受け崩壊が発生しているのは西部で、概ね大観峰から東部のカルデラ壁では崩壊、明瞭なクラックは確認できなかった。崩壊の規模は相対的に立野、長陽等西部で大きく、北部に近づくにつれて小さくなっている。
- 北部から西部に近づくにつれて、崩壊地辺縁部やカルデラ壁の上部に開口亀裂が数多く発生している（写真-7.2.1）。多くの崩壊は、凸型斜面、カルデラ壁の肩（遷急線）付近で発生していた。
- 火山地域において地震により発生する斜面崩壊は、2011年東北地方太平洋沖地震によ

る白河丘陵地区¹⁾、1984年長野県西部地震による御岳高原地区^{2)、3)}、1978年伊豆大島近海地震による見高入谷地区⁴⁾、1968年十勝沖地震による八戸地区^{5)、6)}において、軽石層をすべり面として発生したものが報告されているが、同様な特徴を有する可能性のある箇所があることが推定された（写真-7.2.2(a)）。

- ・斜面崩壊は、表層付近の地盤が崩落しているよう見受けられ、崩壊土砂はドライな状態なものがほとんどで、カルデラ壁の崖錐上で停止しているものが多数を占めている（写真-7.2.2(b)）。
- ・南阿蘇村立野付近では、比較的規模の大きな崩壊が発生し、国道57号とJR豊肥線の流出、阿蘇大橋の落橋が認められた。地震により表層付近の地盤が崩落したものと推定されるが、崩壊面に湧水は認められなかった。崩土は白川の水位変化記録より、一時、黒川を閉塞したと推定されるが、調査時点では天然ダムは認められなかった（写真-7.2.3(a)）。崩壊地辺縁部には開口亀裂が認められ（写真-7.2.3(b)）、今後の余震や降雨による拡大崩壊等に注意が必要と考えられる。



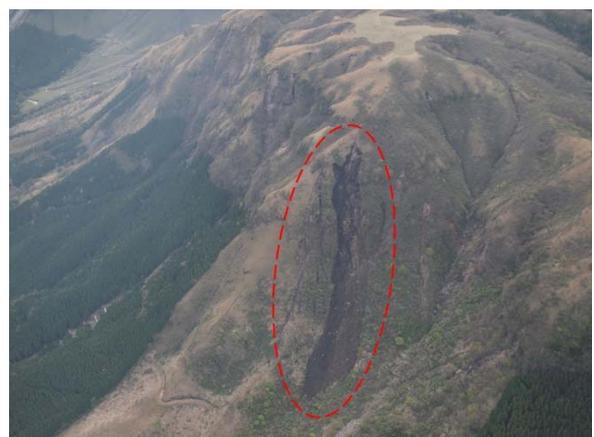
(a)大観峰付近(崩壊、開口亀裂は未発生)



(b)ミルクロード沿いのカルデラ壁斜面



(c)かぶと岩展望所付近の崩壊と開口亀裂



(d)かぶと岩展望所付近の崩壊状況

写真-7.2.1 外輪山北部、北西部の様子



(a) 軽石層がすべり面と推定される斜面崩壊



(b) 崩壊土砂は崖錐上で停止

写真-7.2.2 外輪山北西部の斜面崩壊



(a) 崩壊土砂が流入した黒川の様子
(調査時点で河道閉塞は認められない)



(b) 斜面上部の開口亀裂の状況

写真-7.2.3 阿蘇大橋付近斜面崩壊の様子

(2) 中央火口丘斜面

- ・中央火口丘西側の斜面においては、棚田やゴルフ場等の緩斜面で非常に浅い地すべり性の崩壊が多数確認された（写真-7.2.4）。
- ・垂玉温泉の上部斜面では、多数の亀裂の発生が認められ（写真-7.2.5(a)）、また、垂玉川及びその北側の山王谷川では崩土の流動化も認められ、国道325号の直上流付近まで数kmにわたって流下し、人家にも一部影響を及ぼしているものと推定された（写真-7.2.5(b)）。
- ・山王谷川の上流域では、大竈門山の山腹に表層崩壊の発生が多数認められた。崩土が谷部に堆積していることから、今後の降雨による土砂流出の危険性が高く、注意が必要と考えられる（写真-7.2.6(a)(b)）。



(a) 牧野、ゴルフ場における崩壊



(b) 牧野における崩壊



(c) 棚田における崩壊



(d) 尾根上台地における法肩部の崩壊

写真-7.2.4 中央火口丘斜面の様子



(a) 垂玉温泉直上の斜面の開口亀裂



(b) 山王谷川の土石流氾濫状況

写真-7.2.5 中央火口丘垂玉温泉付近の斜面、山王谷川の状況



(a) 流域源頭部の崩壊の様子



(b) 崩壊土砂の一部が流動化した状況

写真-7.2.6 大竈戸山の山腹における崩壊等の様子

(3) 外輪山外側斜面

外輪山外側では、国道57号の北側、ミルクロード付近の流域において、比較的崩壊深の大きな崩壊が数か所において発生しているのを確認した（写真-7.2.7）。

- ・崩壊土砂は、水分は多くなく流動化はしていないものと推定された。
- ・外輪山外側斜面は、カルデラ壁の斜面と異なり斜面の勾配は相対的に緩いため、余震による再崩壊のリスクも相対的に低いと思われるが、降雨による土砂流出には注意が必要と考えられる。



写真-7.2.7 外輪山外側斜面の崩壊の様子

(4) まとめ

- ・発生した崩壊の特徴が、外輪山カルデラ壁、中央火口丘斜面、外輪山外側斜面でそれぞれ異なっており、今後さらに詳細な調査を実施し、それぞれの地域に応じた対策の方向性等を検討する必要があると考えられる。
- ・特に、カルデラ壁については余震による再崩壊のリスクが比較的高いと推定され、注意が必要と考えられる。
- ・中央火口丘斜面、特に、大竈門山流域の河川については降雨による土石流発生リスクが高いと推定され、今後注意が必要と考えられる。

7.2.2 各現場の概要

(1) 阿蘇大橋地区斜面（阿蘇大橋右岸側斜面）

外輪山北西部の南阿蘇村立野地区に位置する阿蘇大橋の右岸斜面で発生した崩壊は、今回の地震により発生した崩壊の中では、大規模な事例と言える（写真-7.2.8）。

崩壊は、外輪山の標高約740m付近から発生し、崩壊斜面の末端は標高約400m付近まで達している。崩壊の諸元¹⁾は、崩壊斜面長約700m、幅200m、最大崩壊深約25m、崩壊土砂量は崩壊発生前後の航空レーザ測定の標高差分から約50万m³と推測された。

崩壊前の地形²⁾は、斜面上部に遷急線より下部の勾配が50°以上と急勾配で縦断的に凸状を呈する斜面が北東～南西方向（大分側～熊本側）に帯状に確認された（図-7.2.2青破線）。また、大規模な崩壊跡地が明瞭に認められたことから、過去にも今回と同様に大規模な崩壊が繰り返し発生してきたと考えられた（図-7.2.2）。

地質は九州地整が実施した弾性波探査やボーリング調査²⁾から、地表から数メートル程度は黒ボクや崩積土から構成され、それより深部は安山岩と火砕岩（自破碎溶岩や凝灰角礫岩等）が層状に分布する構造と考えられる。安山岩は硬質であるが、亀裂の発達が見ら



写真-7.2.8 阿蘇大橋地区斜面全景

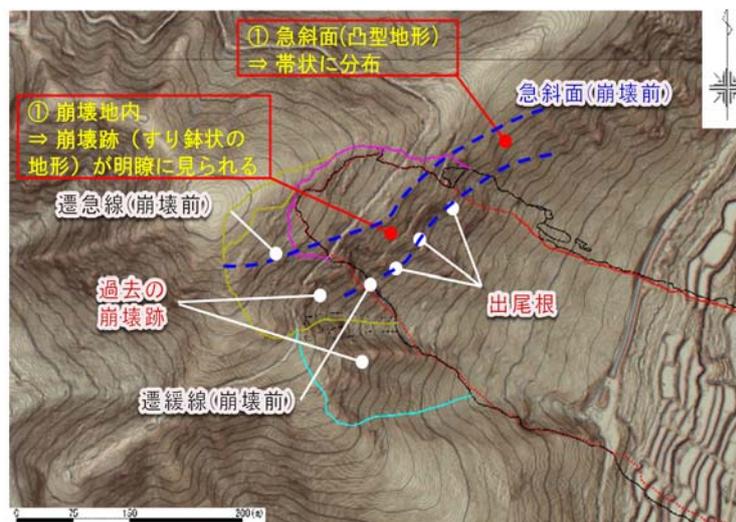


図-7.2.2 崩壊前の地形

れる。また、地表から10～20mまでの範囲は、弾性波速度の低速度層となっており、岩盤の緩み領域と考えられた。崩土は、巨礫が少なく細粒分が多い土砂が主体であることから、表層の黒ボクや崩積土および基岩浅層の風化層や緩み領域の層が中心と考えられる。

この崩壊により、斜面直下の国道57号とJR豊肥線の路盤が完全に流出するなどの被害が生じた。さらに崩壊地内や周辺には不安定土砂の残存や亀裂が多数確認され、余震や降雨による二次崩落の危険が懸念された。特に6月19～21日にかけて、連続雨量326.5mm、最大時間雨量60.5mm（何れも施工現場における観測結果）の降雨量を観測し、この降雨により、崩壊斜面周縁部での拡大崩壊や崩土の流出が生じた他、伸縮計が顕著な移動を示す観測結果が得られるなど、崩壊斜面周縁部を中心に、不安定化が進んだことが懸念された。

このような中、現地では、被災した国道や鉄道の早期復旧を図るため、緊急対策が必要とされた。緊急対策は、斜面内および斜面下部で実施される斜面对策工事、道路、鉄道の復旧作業における安全確保のため、斜面頂部の不安定土塊や浮き石の除去（ラウンディング）と、落石防護として斜面下部に上下2段の土留盛土（各H=3m）の設置が中心である（写真-7.2.9）。これらの作業は、余震による再崩落や落石の危険が高いため、斜面内の作業は全て遠隔操作の無人重機で実施された。これらの作業は、5月5日に土留盛土から着手し、6～7月は降雨による中断も度々あったが、12月26日には全て終了した。



写真-7.2.9 対策工（左；土留盛土・九州地整提供、右；ラウンディング）

なお、現地調査結果に基づき、亀裂の監視体制の整備、斜面对策や道路復旧等の工事実施上の安全確保、対策工法の計画に関する留意点について、九州地方整備局に助言を行い、実際の対策の計画検討に反映された。特に九州地方整備局が設置した「阿蘇大橋地区復旧技術検討会」に土砂災害研究部から専門家を派遣し、緊急対策の実施や恒久対策の計画立案等に対して継続的な支援を実施している（7.3.3で後述）。

(2) 立野地区

阿蘇大橋斜面の西に位置する立野地区では、本震による崩壊やその後の降雨による拡大崩壊が生じた。

写真-7.2.10は平成28年4月16日に撮影した南阿蘇村立野地区の斜め写真である。写真-7.2.11は、写真-7.2.10中の点線で囲んだ領域で発生した崩壊の全景で、5月4日に撮影したものである。写真-7.2.12～7.2.14は同じ崩壊の近景で、それぞれ上部、中部、下部を

撮影したものである。写真-7.2.10から分かるように、崩壊は山腹斜面の中腹の2箇所が発生したが、崩土と流木は麓の住宅地に到達せず、山腹斜面上で停止した。また、写真-7.2.10中に示した矢印周辺まで立木の倒伏範囲が達した。一方、写真-7.2.13、7.2.14からは、崩土と流木は4月16日の時点よりも下流まで移動したことがわかる。アメダス南阿蘇での観測結果によれば、24時間降水量は平成28年4月17日に27.0mm、21日に113.0mm、23日に8.5mm、25日に1.5mm、24日に6.0mm、26日に2.0mm、27日に29.5mm、28日に6.5mm、5月3日に38.0mmであった。このことから、本震時の崩壊や拡大崩壊の崩土、流木がその後の降雨により下流へ移動したと推測できる。

平成28年5月4日時点で携帯型レーザ距離計を用いて計測した結果によれば、崩壊は長さ320m程度（斜長）、幅100m程度（水平）で、崩壊深さの最大値8m程度であった。斜面勾配は崩壊地の上部で32°程度、中部で26°程度、下部で17°程度であった。斜面の上部には不安定な土塊が残存していたため、今後の降雨や余震時に移動する可能性が想定される。



写真-7.2.10 熊本県阿蘇郡南阿蘇村立野地区の崩壊（平成28年4月16日撮影）



写真-7.2.11 熊本県阿蘇郡南阿蘇村立野地区の崩壊（平成28年5月4日撮影）



写真-7.2.12 熊本県阿蘇郡南阿蘇村立野地区の崩壊上部（平成28年5月4日撮影）



写真-7.2.13 熊本県阿蘇郡南阿蘇村立野地区の崩壊中部（平成28年5月4日撮影）



写真-7.2.14 熊本県阿蘇郡南阿蘇村立野地区の崩壊下部（平成28年5月4日撮影）

(3) 瀬田地区

国道57号線に沿って立野地区の西に位置する南阿蘇村瀬田地区では、6月21日2時頃、国道上に斜面から流出した土砂が延長50mにわたり堆積しているのが確認された。アメダス南阿蘇観測所の計測結果によると、6月19日3時～6月21日2時の累積雨量は303mmで、最大時間雨量は68.5mm/h(6月20日23～24時)を記録した(図-7.2.3)。この降雨により、国道に隣接する沢で土石流が発生し、国道上に流出・堆積したものである(写真-7.2.15、図-7.2.4)。土石流の発生源と推定される崩壊の頭部から堆積域の先端までの延長は約400mに及び、国道、鉄道が被害を受けたほか、道路下方の工場付近まで土砂が氾濫、堆積した。流出した土砂は、沢源頭部付近の新規崩壊、4月の地震により発生した崩壊土砂の溪床堆積土砂の移動、溪床堆積物の移動によるものと推定される。土石流発生斜面は輝石安山岩溶岩の分布域にあたり、堅硬な安山岩中に軟質な自破砕部が層状に分布している。また、表層付近を黒ボクが覆っている。崩壊は、主として、軟質な自破砕部で発生したことが推定される。溪床勾配は、国道～鉄道(斜面下方)が約20°(図-7.2.5a)、鉄道(斜面下方)～鉄道(斜面上方)が約30°(図-7.2.5b)、鉄道(斜面上方)より上方が約36°(図-7.2.5c)、源頭部付近が40°程度(図-7.2.5d)であった。

今後想定される土砂移動現象としては、次の2つが考えられた。

- ・崩壊の拡大
- ・堆積土砂の再移動

鉄道より上部の沢の中には不安定とみられる土砂の堆積量は多くないが、鉄道(斜面上方)より下方斜面には1.0～1.5m程度の厚さで土砂が堆積している。堆積土砂は、最大1.0～1.5m程度の径の岩塊と細粒土砂からなり、降雨時に下方に移動する恐れがあった。

これらに対して、大型土嚢、仮設防護柵などによる小規模な土砂流出に備えた待ち受け対策のほか、規模の大きな土砂流出に対しては大雨時に通行規制で対応する体制がとられることとなった。このほか、落石の発生も認められており、落石への注意も必要と考えられた。

これ以外にも、周辺斜面では表層崩壊の発生が認められた。また、ドローンを用いたLP計測結果によると今回の崩壊発生部より上部斜面に亀裂が分布している可能性が疑われた。このように、地震動により地盤が緩んでいることが推定されるため、周辺斜面での今後の降雨による崩壊、土石流発生に備えた監視体制整備が必要と考えられた。また、降雨後の崩壊・土石流状況の把握、イベント前後のLPデータの比較による崩壊・土石流発生状況の定量的評価、降雨量と崩壊・土石流発生との関係の分析を行いながら、警戒避難や通行規制に役立てていくことも重要と考えられる。

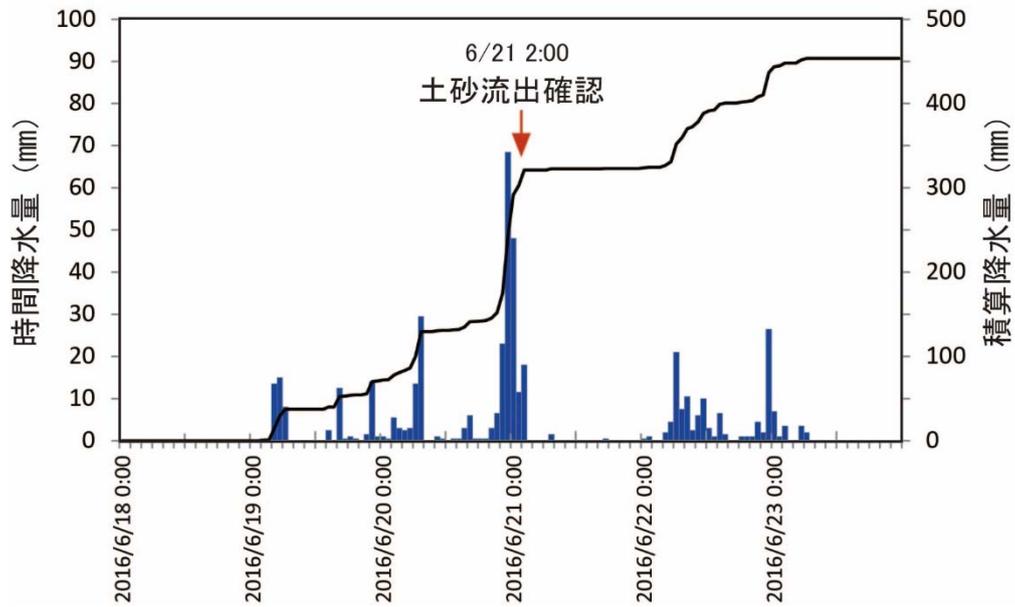


図-7.2.3 2016年6月18日～6月23日の降水量。アメダス（南阿蘇）データを基に作成



(a) 崩壊地（土石流発生域）



(b) 土石流・流木堆積域

図-7.2.15 瀬田地区で発生した土石流

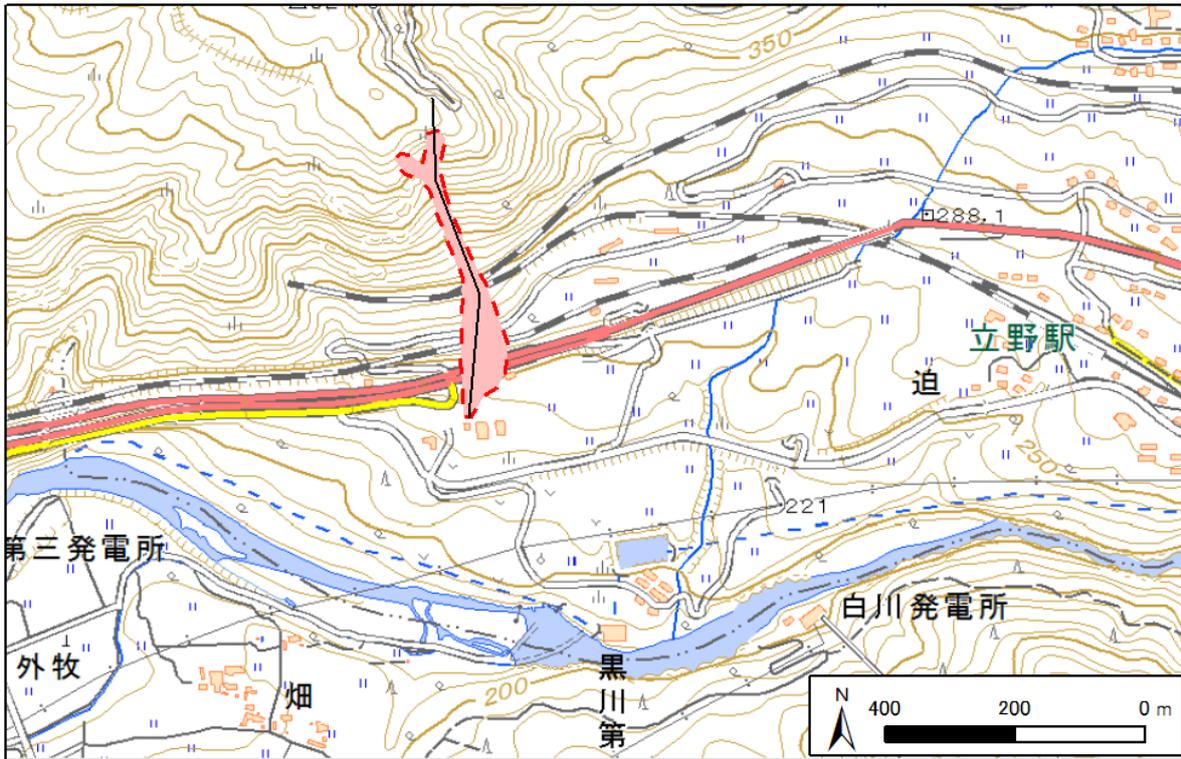


図-7.2.4 瀬田地区の土砂災害発生位置（国土地理院の地理院地図を基に作成）
破線は土砂の流出・堆積範囲、実線は、図-7.2.5の断面位置を示す

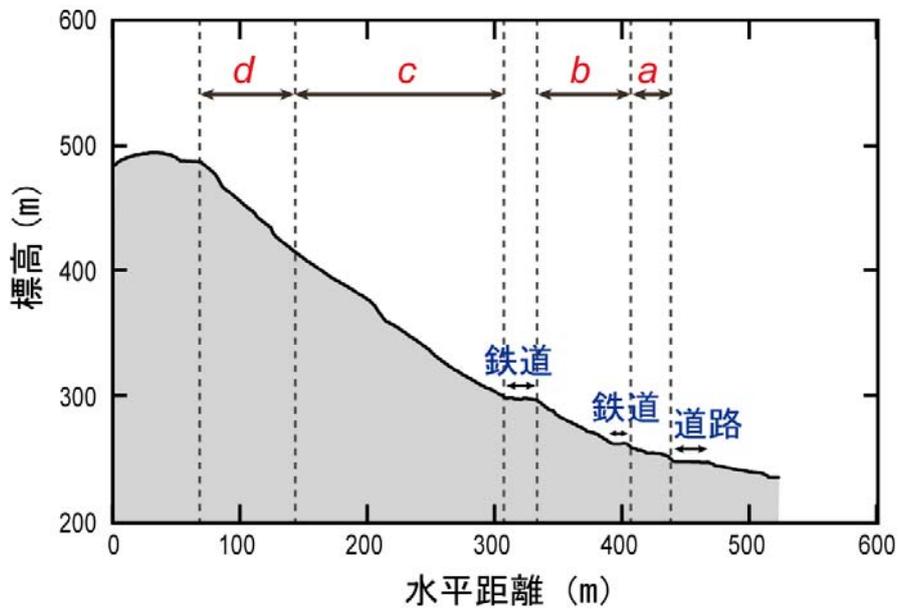


図-7.2.5 瀬田地区土砂災害発生斜面の縦断図（国土交通省九州地方整備局が熊本地震発生前に撮影した航空レーザ測量結果を基に作成。a～d は本文中の斜面勾配の区間に対応）

(4) 山王谷川

中央火口丘の西側斜面に位置する山王谷川の流域（流域面積2.3km²、平均溪床勾配1/7）は、表層崩壊の発生が顕著であり（写真-7.2.6(a)(b)、写真-7.2.16）、これらの崩壊の崩土が土石流へと発達・流下し、下流の耕地、住宅地に氾濫・堆積した（写真-7.2.17）。谷出口付近には砂防堰堤が設置されていたが、右岸側の袖が流出していた（写真-7.2.18）。残存した袖部の上端には、さらに数十cm～1m程度高い位置に流下痕跡が確認できたが、袖天端より著しく高い位置を越流した痕跡とは考えられなかった。

写真-7.2.19は山王谷川の谷出口付近にある砂防堰堤より下流側を撮影したものである。土石流は砂防堰堤下流に整備されていた溪流保全工から兩岸方向に溢れて流下した。堆積土砂は、黒色を呈した細粒分主体の土砂である。写真-7.2.20は砂防堰堤下流の堆積土砂の左岸側端部である。土砂は水平に堆積するのではなく、堆積部両端部で30度程度の勾配で堆積していたことや、下流側にあるビニールハウスの周辺（写真-7.2.17に位置を図示）では、ビニールハウスの骨組みが流路下流方向ではなく、流路から離れる方向に押されていたことから、ある程度の高い土砂濃度を保った状態で流下して氾濫したと考えられた。

また、集落内を流下する溪流保全工に沿って、土石流の流下痕跡が左右岸の護岸よりも高い位置まで見られたが、流れが住宅地や田畑まで溢れるほどの高さまで達していなかった。しかし、山王谷川流域には、ドローンやヘリによる上空からの調査から山腹や溪床に不安定土砂や流木が大量に残存していると考えられ、6月下旬の降雨では、上流から流出した土砂により集落内で新たな氾濫が生じるなど、今後の降雨により流出する危険が高いことから、今後も同様の災害に対して注意が必要である。

そのため、熊本県に対して、砂防堰堤や溪流保全工内の堆積土砂の除去やワイヤーセンサーの設置といった緊急対策の実施に関して助言を行った。



写真-7.2.16 山王谷川流域の崩壊状況（平成28年4月22日撮影）



写真-7.2.17 山王谷川の谷出口付近（平成28年4月17日撮影）



写真-7.2.18 被災した砂防堰堤（平成28年4月19日撮影）



写真-7.2.19 山王谷川の谷出口下流の土砂堆積状況
（平成28年4月19日撮影）



写真-7.2.20 堆積部端部の状況（平成28年5月3日撮影）

(5) 夜峰山

夜峰山は、阿蘇山中央火口丘の南西端、南阿蘇村に位置する（図-7.2.6）。標高は約913mであり、山体は東西約1kmに及ぶ細長い稜線から構成され、山腹斜面の勾配は 35° 以上と急で、鋭角状に切り立った山体が特徴である（写真-7.2.21）。

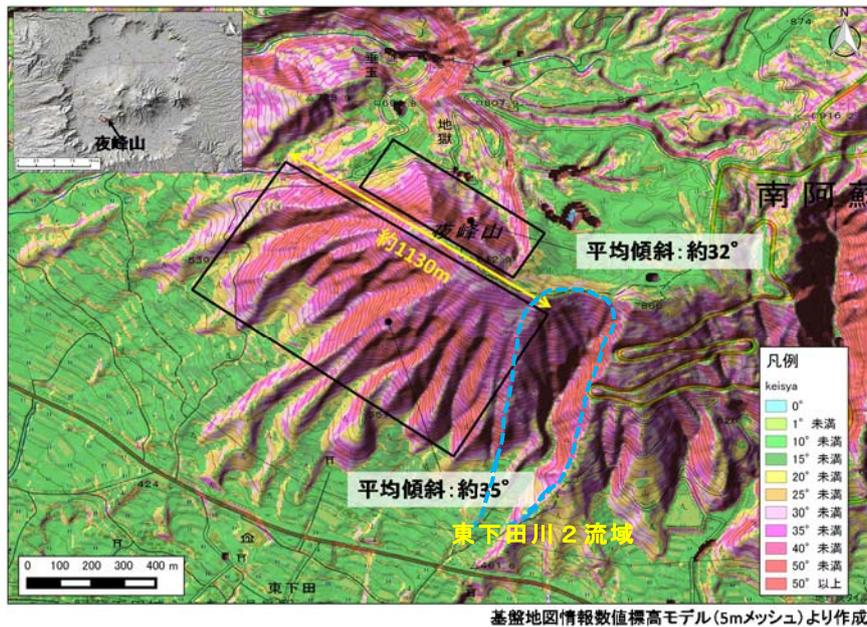


図-7.2.6 夜峰山位置と地形

4月16日の本震後に実施した現地調査では、稜線部付近や山腹から複数の崩壊が発生しているのが確認された。特に、南側斜面の東下田川2（流域面積 0.18km^2 ）の源頭部の稜線から発生した崩壊は規模が大きく（図-7.2.6、写真-7.2.22）、これ以外は南側と北側斜面の中腹に小規模な崩壊が確認された。崩壊深は何れも浅く、崩土は火山噴出物に起因する細粒分の土砂が主体である。また、東西に伸びる稜線頂部の全域に沿って顕著な亀裂が確認された（写真-7.2.23）。



写真-7.2.21 夜峰山の山体形状（東側から望む）



写真-7.2.22 東下田川 2 の崩壊
（破線が流域を示す）



写真-7.2.23 稜線上の亀裂



写真-7.2.24 砂防堰堤による土砂捕捉

5月7、8日に実施した現地調査時には、東下田川2に設置されていた鋼製透過型砂防堰堤（東下田2砂防堰堤、H=8.5m）において流出土砂の捕捉が確認された（写真-7.2.24）。

砂防堰堤の透過部前面には堤高の半分程度まで流木が捕捉され、その背後には細粒分主体の土砂が堆積していた。これは、本震直後に撮影された衛星写真を見ると砂防堰堤には土砂・流木は到達していないため、4月17日以降、最大の降雨を観測した4月21～22日の降雨（連続雨量106mm；4月21日6時～4月22日11時、最大時間雨量17mm；4月21日15時、何れも山王谷雨量局）による拡大崩壊または溪床堆積物の移動に伴い流出した土砂と考えられる。

さらに、6月18日からの降雨時（連続雨量621mm；6月18日23時～6月26日18時、最大時間雨量74mm；6月20日24時、何れも山王谷雨量局）には、南斜面中腹に位置する溪流内（東下田川1 流域面積0.48km²）の小規模な崩壊斜面において、大規模な拡大崩壊が生じ、崩土が土石流となって夜峰山南麓の国道まで流出した（写真-7.2.25）。発生時刻は、6月20日23時から21日2時まで時間雨量30mm～70mm近い強い降雨が観測されていること、国道の通行止めの時間が6月21日2時頃であるため、この時間帯と考えられる。また、北側斜面においても、顕著な拡大崩壊が確認された。さらに、稜線上の亀裂部を上縁とした新たな小規模崩壊の発生や、4月調査時と比較して亀裂幅の拡大が確認された（写真-7.2.26）。このように、夜峰山は、地震後の拡大崩壊が顕著な地域であり、山体の不安定化が懸念され、今後も二次的な土砂災害の発生に対して注意が必要と言える。



写真-7.2.25 崩壊拡大の状況（左；平成 28 年 5 月 8 日 右；平成 28 年 9 月 5 日）



写真-7.2.26 稜線部の崩壊発生状況（左；平成 28 年 5 月 8 日 右；平成 28 年 9 月 5 日）

(6) 外輪山北部の崩壊

阿蘇市に位置する阿蘇山外輪山北部の急崖では、多数の崩壊が発生した（写真-7.2.27）。また崩壊地頂部の外輪山縁部には亀裂が発達し、再崩壊の危険が懸念された。更に、地元では拡大崩壊した場合の崩土や崩壊斜面直下に堆積している崩土が出水期に土石流化して集落まで流出することを懸念する声が高まった。そのため、阿蘇市の依頼を受けて、外輪山北部の崩壊斜面の調査を実施した。調査箇所を図-7.2.7に示す。



写真-7.2.27 外輪山の崩壊状況

地理院地図
GSI Maps



図-7.2.7 調査箇所図（国土地理院地図に加筆）

崩壊斜面の現地調査は、崩壊斜面への接近が困難であるため、5月7日にヘリコプターによる目視で行った。調査結果を以下に記す。

- ・クラックは尾根部を形成する基岩まで達しておらず表層のみと思われる。従って、直ちに深部を崩壊面とする崩壊が発生する可能性は低いと考えられる。

- ・保全対象までは距離があり，クラック部が崩壊しても保全対象への影響は少ないと考えられる。集水地形でもなく，長距離を流動化する可能性は低いと考えられる。
- ・但し，今後の降雨や大規模な余震等により，状況の変化が考えられるため，継続的な観測が望ましい。
- ・車帰地区については，溪流への不安定土砂の堆積が継続する可能性があるため，継続した観測が必要と考えられる。

以上の結果は，5月8日に砂防研究室長から阿蘇市長に報告を行った（写真-7.2.28）。



写真-7.2.28 砂防研究室長（左）から阿蘇市長（中央）に説明

(7) 甲佐町下豊内

甲佐町の下豊内急傾斜地崩壊危険区域においては、図-7.2.8、写真-7.2.29に示すようにがけ下に家屋があり、がけ上がほぼ平坦な更地である急傾斜地（延長約500m、高さ約60m）の法肩から約1m背後の平坦部分に法肩と平行な亀裂（延長約500m、幅約50cm、深さ不明）が発生した。そのため、町に派遣されていた九州地整リエゾンを通じて町から九州地整に調査要請が出され、4月22日に現地調査を行った。前震または本震のいずれかで生じた亀裂と考えられるが、発生時刻は不明である。亀裂幅の変位監視用として木杭が設置されていたが、設置後は木杭間の距離に変化がないことから亀裂は拡大していない。なお、調査前日に総雨量70mm（アメダス観測点：甲佐、4/21 11時～18時）、最大時間雨量23mm（同、4/21 13時～14時）の降雨が観測されているが、降雨前後でも亀裂幅に変化は生じていなかった。調査後、町長以下役場関係者に対して結果報告とともに、今後必要と思われる応急対策（亀裂への雨水流入防止、亀裂幅の変位監視、土嚢等を用いた住宅への土砂流入防止）と恒久対策（構造物による住宅への土砂流入防止）について助言を行った。

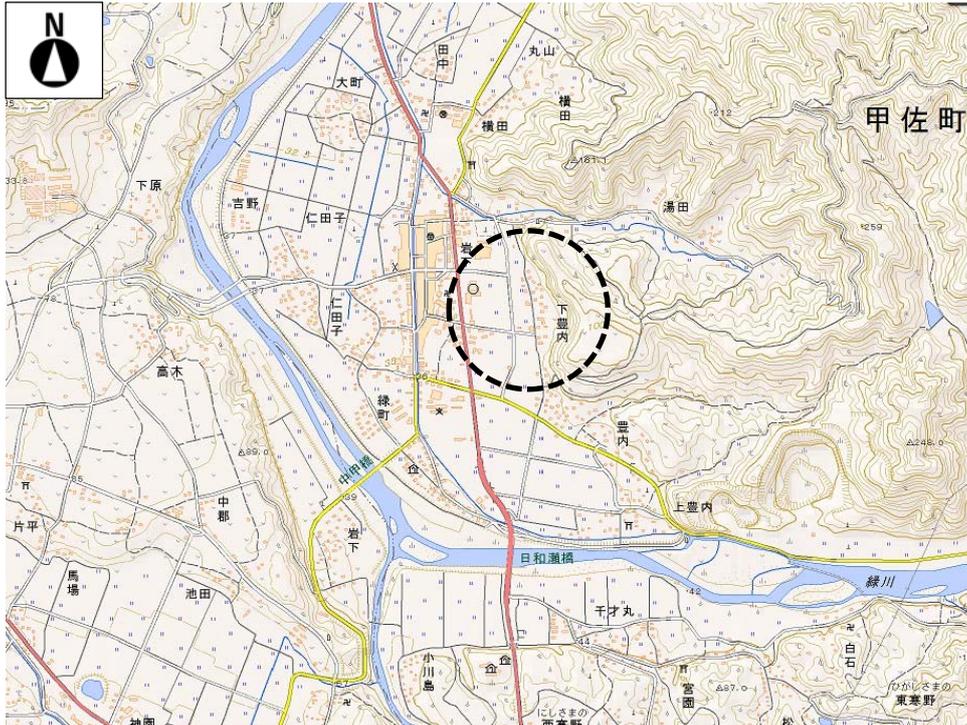


図-7.2.8 位置図（円内が該当斜面） 電子国土 Web を使用



写真-7.2.29 かげ下から見た斜面の状況。雨水浸透を防ぐために設置したブルーシートの一部を法肩付近で確認できる（円内）

7.3 土砂災害に対する復旧・復興支援

国総研土砂災害研究部、土研土砂管理研究グループは、前震発生直後の4月15日から5月11日まで、延べ141人日、職員を派遣し、九州地方整備局が実施する応急対策やTEC-FORCE活動、熊本県が実施する土砂災害危険箇所の緊急点検の支援を行った。さらに、被害が大きかった地区において、7.2.2で述べたように現地調査を実施し、結果を市町村長等へ報告するとともに、警戒避難体制に関する助言を行った。ここではその活動の概要を述べる。

7.3.1 TEC-FORCE 緊急点検支援

(1) 目的、経緯

国土交通省では熊本県からの要請を踏まえ、震度 6 強以上を記録した市町村を中心に、緊急度の高い土砂災害危険箇所の緊急点検を全国から参集した TEC-FORCE（緊急災害対策派遣隊）により実施した。

緊急点検の目的は、大規模な地震後の余震又は降雨による崩壊の拡大、新たな崩壊の発生、土石流などの二次災害を防止・軽減するため、緊急的に調査を実施し、危険度を評価するものである。緊急点検結果を関係する都道府県、市町村に説明することにより、避難勧告等の警戒避難体制の整備や大型土嚢積み、土砂撤去等の応急対策に活用することが期待される。

(2) 実施方法

点検期間は 4 月 19 日から 27 日の 9 日間で、北海道、関東、北陸、中部、近畿、中国、四国、九州の各地方整備局及び内閣府沖縄総合事務局の TEC-FORCE 及び国総研及び土研の土砂災害専門家の延べ約 740 人日（1 日あたり 80～85 名程度）により実施された。

点検対象地域は、熊本市、菊池市、宇土市、宇城市、阿蘇市、合志市、大津町、菊陽市、産山村、西原村、南阿蘇村、嘉島町、益城町の計 13 市町村に及び、土砂災害危険箇所は計 1,155 箇所である。

調査は現地調査、ヘリ調査等により実施し、河道閉塞や崩壊、地すべりなどの発生状況、溪流内の不安定な土砂・流木の堆積状況、人家周辺の斜面の変状（崩壊の発生等）などを確認した（写真-7.3.1）。緊急点検期間中に熊本県では、点検を行っている範囲を中心に、震度 4 以上の余震が 7 回、震度 3 以上は 67 回発生（図-7.3.1）するとともに、降雨もあったため、点検作業は度々中断した。また、調査職員の安全を確保するため、現地調査において、土石流危険溪流では谷出口付近のみ、急傾斜地崩壊危険箇所では崩壊箇所に近寄らず、遠方からの目視で点検する等の対応を図った。このため、現地調査が十分できない箇所については、ヘリ調査による斜め空中写真、国土地理院が撮影した空中写真等を用いて、土石流危険溪流の上流域における崩壊地、土砂流出等の有無を確認し、危険度評価を行った。

国総研、土研の専門家は九州地方整備局の会議室に詰め、TEC-FORCE からの緊急点検結果のチェック、空中写真等による危険度評価の指導等を行った。

危険度評価は A～C ランクに分類し、その定義は以下のとおりである。

ランク A：応急的な対策が必要な箇所

ランク B：当面巡視等の警戒の強化が必要な箇所

ランク C：特に変化はなく緊急度は低いが、降雨状況によっては注意を要する箇所



写真-7.3.1 TEC-FORCE による危険箇所点検の状況（九州地方整備局提供）

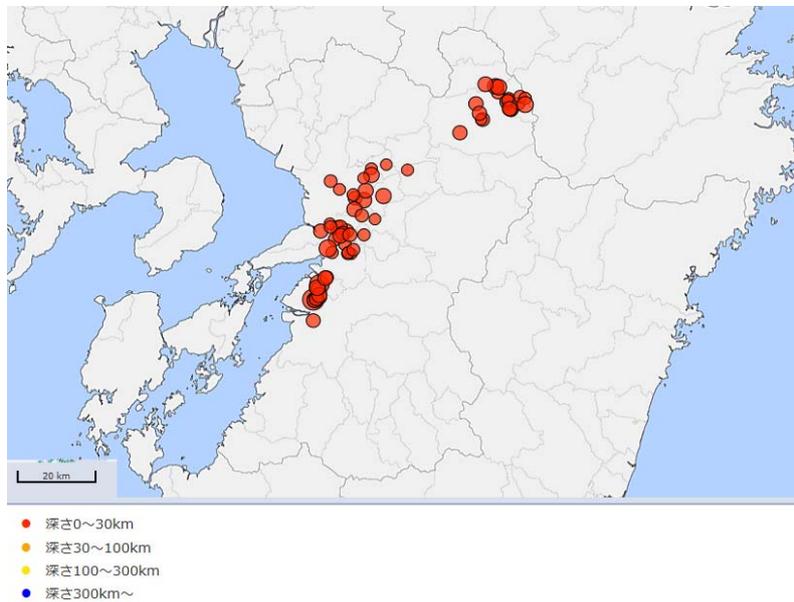


図-7.3.1 余震発生震央分布図（気象庁の HP を使用）

(3) 結果

点検結果を表-7.3.1 に示す。

点検結果は 4 月 28 日に熊本県（知事）及び 13 市町村（首長等）へ報告（写真-7.3.2）するとともに、同日、九州地方整備局が記者発表した。

表-7.3.1 土砂災害危険箇所の緊急点検結果

	ランク A	ランク B	ランク C	計
土石流	40	33	362	435
急傾斜地	13	42	655	710
地すべり	1	2	7	10
計	54	77	1,024	1,155



写真-7.3.2 関係市町村長への説明（4月28日西原）

(4) 今回の緊急点検の特徴

今回の緊急点検は13市町村と広域にわたったため、各地方整備局等のTEC-FORCEは、分散して複数の拠点（菊池川河川事務所、八代河川国道事務所、熊本河川国道事務所、九州技術事務所、熊本県阿蘇振興局等）において活動せざるを得なかった。このため、九州地方整備局に集合していた国総研及び土研の土砂災害専門家が、点検者から直接調査結果の説明を聞くことができなかった。他方、点検結果の資料等をチェックし、必要に応じて九州地方整備局に詰めていた各地整TEC-FORCEの総括班を通じて確認等を行った。

緊急点検期間中は余震活動が活発であり、降雨も度々あったため、十分に現地調査を実施できない箇所があった。特に北部のカルデラ壁の土石流危険渓流は流域面積、比高（高度差）が大きく、上流域までの調査は困難であった。このため、ヘリ調査等による空中写真を判読して危険度評価を実施した。

(5) 今後の課題

国土交通省では、これまで大規模な地震、豪雨災害後に、都道府県からの要請を踏まえ、土砂災害危険箇所の緊急点検を実施してきた。平成16年中越地震後の主な緊急点検の実施状況を表-7.3.2に示す。

今後、気候変動に伴う集中豪雨の激化や南海トラフ巨大地震などの大規模地震の発生が懸念される中、的確かつ迅速な土砂災害危険箇所の緊急点検の実施がますます重要となる。巨大地震においては、熊本地震における今回の対応と同様に、TEC-FORCEの部隊は複数の拠点において自律的に調査を実施することが求められる。このため、TEC-FORCEによる土砂災害危険箇所の緊急点検の実施体制や本省、地方整備局、国総研、土研等の業務内容と役割分担、効果的・効率的な調査・点検の方法等について、マニュアルの整備・改定が必要である。

また、緊急点検を実施する地方整備局等の職員の研修等を通じた人材育成もますます重要である。

表-7.3.2 国土交通省が実施した緊急点検の概要

年	平成16年	平成19年	平成20年	平成21年
災害名等	新潟県中越地震	新潟県中越沖地震	岩手・宮城内陸地震	駿河湾地震
点検対象市町村	新潟県： 栃尾市(現長岡市)、長岡市、越路町、山古志村、守門村、広神村、堀之内町、川口町、小千谷市、小出町、大和町、六日町、川西町、十日町市、中里村、安塚町、入広瀬村	新潟県： 柏崎市、刈羽村、長岡市、出雲崎町、三条市、燕市、小千谷市、十日町市、南魚沼市、上越市	岩手県： 奥州市、北上市、金ヶ崎町、一関市、平泉町 宮城県： 栗原市、大崎市、加美町、涌谷町、美里町、登米市	静岡県伊豆市
災害発生日	10月23日	7月16日	6月14日	8月11日
点検期間	10月27日～31日 5日間	7月19日～23日 5日間	6月15日～19日 5日間	8月12日～14日 3日間
判定結果	A	112箇所(特A:6箇所)	20箇所	0箇所
	B	272箇所	153箇所	12箇所
	C	1,085箇所	2,899箇所	787箇所
	計	1,469箇所	3,104箇所	2,771箇所
点検機関(国交省)	北陸地整、関東地整、国総研、土研	本省砂防部、国総研、東北地整、関東地整、北陸地整、中部地整、近畿地整	本省砂防部、北海道開発局、東北地整、関東地整、北陸地整、中部地整、国総研	本省砂防部、東北地整、関東地整、北陸地整、中部地整
点検機関(自治体等)	新潟県、山形県、福島県、長野県、富山県、石川県	山形県、福島県、群馬県、栃木県、富山県、石川県	岩手県、宮城県、青森県、秋田県、山形県、福島県、栃木県、群馬県、新潟県	-
その他	砂防ボランティア、砂防・地すべり技術センター、砂防広報センター	砂防ボランティア	-	-
延べ人数	508人・日	650人・日	670人・日	198人・日
体制	最大29班131人	260人	212人	66人

年	平成25年	平成26年		平成28年
災害名等	台風第26号	8月豪雨	長野県北部地震	熊本地震
点検対象市町村	東京都大島町	広島県広島市	長野県： 小谷村、白馬村、小川村、長野市	熊本県： 熊本市、菊池市、宇土市、宇城市、阿蘇市、合志市、大津町、菊陽町、産山村、西原村、南阿蘇村、嘉島町、益城町
災害発生日	10月16日	8月20日	11月22日	4月14日、16日
点検期間	10月17日～22日 6日間	8月20日～29日 10日間	11月24日～28日 5日間	4月19日～27日 9日間
判定結果	A	8箇所	70溪流	54箇所
	B	13箇所	38溪流	77箇所
	C	50箇所	75溪流	1,024箇所
	計	71箇所	183溪流	76溪流
点検機関(国交省)	関東地整、北陸地整、中部地整、九州地整、国総研、土研	中国地整、北陸地整、中部地整、四国地整、九州地整、国総研、土研	北陸地整(5班・19人)、関東地整(1班6人)	北海道開発局、関東地整、北陸地整、中部地整、近畿地整、中国地整、四国地整、九州地整、内閣府沖縄総合事務局、国総研、土研
点検機関(自治体等)	-	-	-	-
その他	-	-	-	-
延べ人数	-	692人・日	122人・日	740人・日
体制	10班40人	-	6班25名	18班71人

7.3.2 土砂災害対策アドバイザー班としての活動

TEC-FORCE（緊急災害対策派遣隊）による緊急点検への指導以外にも、国総研、土研の専門家は、土砂災害による被災の著しい地域における自治体首長等への支援のため、土砂災害対策アドバイザー班としての活動を実施した。

具体的には、南阿蘇村、阿蘇市、西原村等の自治体からの依頼に基づき、現地を調査するとともにその結果を取りまとめ、自治体首長等に助言を行ったものである。調査を実施した箇所は、概ね7.2.2にある現地調査箇所と同様であり、詳細は同項の記述による。

7.3.3 阿蘇大橋地区復旧技術検討会における技術支援

阿蘇大橋地区の斜面は、斜面对策および道路や鉄道の復旧が急務であったが、崩壊規模が大きい点、また崩壊斜面周縁部や崩壊斜面内には大量の不安定土砂が残存していることから、対策には特に高度な技術を要する。そこで、学識者の意見を対策に反映させるため、



写真-7.3.3 検討会の様子



写真-7.3.4 現地確認の様子
(中央；国総研派遣専門)

九州地方整備局が「阿蘇大橋地区復旧技術検討会」（以下、検討会と略す）を設置した。土砂災害研究部も砂防研究室長を委員として派遣し、検討会において対策計画の検討等に助言を与えるなど、継続的な支援を行っている。

検討会は、5月10日に第一回が開催され、12月6日までに4回開催された（写真-7.3.3）。この検討会を通して、監視・観測計画の検討、観測結果を踏まえた斜面安定性の評価、斜面の地形・地質特性を踏まえた対策の基本方針等について助言を行ってきた。12月26日には緊急対策として5月5日の対策着手以降進めてきた崩壊斜面内における無人化施工によるラウンディングや土留盛土工が全て完了し、本格的な斜面对策や道路、鉄道の復旧を有人化施工により実施するにあたり必要な安全確保が図られたことを現地において確認した（写真-7.3.4）。

7.3.4 土砂災害専門家としての活動の課題

今回、国総研、土研は、土砂災害専門家として、九州地方整備局の支援を行うと共に、自治体からの要請に基づき、土砂災害に対するアドバイザーとして現地に臨場して活動を行ったが、課題としては以下の事柄が挙げられる。

(1) 地震時の危険度評価の難しさ

地震による土砂災害は、毎年のように発生する降雨による土砂災害と比較すると頻度が低く、十分な知見や技術の蓄積が為されているとは言い難く、助言に際しても判断が難しいと感じる局面が多かった。特に頻発する余震の影響、多数発生した亀裂の危険度評価、また降雨により多数の拡大崩壊が発生するなど地震動による地盤のゆるみの影響を精度良く評価することは未だ困難であり、これらの影響評価手法の確立が急務である。さらに降雨では考えられないような緩勾配斜面における大規模な土砂移動現象の要因解明と危険箇所の推定についても必要な技術課題と考える。

また、今回は、自治体が把握した土砂災害の懸念に対してアドバイスするという方法により遂行したが、土砂災害専門家として、自治体が把握していないような危険性の把握と今後の見通し等についてアドバイスできるような技術、体制が必要と考えられる。

(2) 自治体首長への的確なアドバイス

今回、阿蘇地方に国総研、土研の土砂災害専門家の多くが臨場し、自治体首長に対してアドバイスをを行った。これは初めての試みであったが、自治体からは大変有用なこととして評価していただいた。国総研、土研では人的資源をフル活用して、こうした自治体への対応を行ったが、今後も多発する土砂災害について、自治体の防災行政に貢献ができるよう、新たな対策技術の開発や、職員の技術向上の研鑽に励んでいきたい。

7.4 まとめ

熊本地震では震源に近い断層に沿って人家や公共施設等に大きな被害が発生した。土砂災害現象に関しては、阿蘇山カルデラ内とその周辺地域においては、火山噴出物を中心とした脆弱な地質が広く分布しており、また、阿蘇カルデラ斜面は急な傾斜を有していることなどから、特に布田川断層の延長線上における南阿蘇村の自然斜面を中心に甚大な土砂災害が発生した。さらに、この地域においては、4月下旬の降雨や6月に梅雨前線による豪雨があり、二次的な土砂移動が発生して被害がさらに拡大した。

この地震での斜面崩壊について、国総研で開発した地震時斜面崩壊危険度評価を適用したところ、現地の崩壊分布と判別得点は概ね整合する結果が得られた。また、SAR画像による崩壊地判読では2時期の強度画像から作成したカラー合成画像の適用性について把握できた。

現地調査では多くの土砂災害に関わる変状が確認され、こうした調査結果をもとにTEC-FORCEや熊本県が実施する土砂災害危険箇所の緊急点検への支援を積極的に行った。さらに今後の土砂災害に対する留意点等について、関係する首長に説明するなど自治体の警戒避難体制への支援に関わる取り組みを行い、地域の安全・安心に資することが出来た。

特に社会的影響が甚大であった阿蘇大橋地区では砂防研究室長が復旧技術検討会に委員として参画して助言を行うことにより、無人化施工によるラウンディングや土留盛土工等の対策工事が完了するなど円滑な復旧を導いた。

こうした状況等を踏まえ、熊本地震を契機とした本地域での土砂災害に関して留意すべき点を以下に述べる。

(1) 斜面崩壊による二次災害

今回の地震により崩壊した斜面の周囲には、多くの亀裂が生じ、現在も数多くの亀裂が残存している。このような亀裂は土砂の流入・堆積により埋没しつつあるもの、あるいは規模が拡大しないものが多いと思われるが、中には拡大している亀裂も見られる。特に、遷急線付近に位置しているものは危険度が高いと考えられる。今後、このような亀裂の拡大による崩壊が懸念されるため、顕著な亀裂が生じた箇所の継続した監視が必要である。こうした危険な亀裂の監視については地表面の伸縮計や傾斜計の観測によるもののほか、SAR観測や航空レーザ計測、ドローンを活用した面的な斜面変位の把握が効果的であると考えられる。

また、地震直後は小規模な崩壊しか生じていないにもかかわらず、その後の降雨により、

拡大崩壊が生じた箇所も多い。これは地震動による地盤の緩みに起因したものであり、影響はしばらく継続することが考えられるため、小規模でも崩壊が発生している斜面の継続した監視が必要である。

(2) 流域からの流出土砂の影響

崩壊した土砂や流木は斜面中腹や溪流内部に多く残存しており、梅雨期の豪雨により流出した土砂もあるが、依然として大量の土砂が危険な状態で流域内に残存していると考えられる。このような土砂や流木が流出すると、カルデラ内だけに留まらず、カルデラを超えて下流域の広範囲に河床上昇による洪水氾濫や、流木の閉塞・堆積による橋梁、河川構造物への影響も懸念される。そのため、水系の広い範囲で土砂の流出や堆積に対する監視が必要であるとともに、砂防施設等の整備に向けた調査及び計画の作成が必要である。さらに既存の砂防施設、河道内に堆積した土砂や流木の継続した除去も必要と考えられる。