

立野地区亀裂対策検討委員会

報告書

平成31年3月

はじめに

熊本地震では、観測史上初となる短期間に同一地域で2度（前震：平成28年4月14日、本震：平成28年4月16日）の震度7を経験するという地震により、多くの人的・物的被害が発生しました。特に、南阿蘇村では土砂災害が多発し立野地区においても多くの崩壊が発生しました。また、崩壊には至っていないものの、山地には地震による多数の亀裂が残存しており、地域住民からも不安の声が上がっています。このような状況を踏まえ、今まで明らかとなっていない地震亀裂の発生メカニズムやその危険性を把握するため、林野庁において亀裂のモニタリング調査等が実施されてきました。

当委員会は、林野庁による2年間蓄積されたモニタリングデータ等を参考に、立野地区に残存する地震亀裂のメカニズムの検証と対策の検討等を熊本県より依頼され、調査、検討を実施してきました。

本報告書は、

- 1) 亀裂の発生原因、メカニズムに関する事項
- 2) 亀裂の対策方針および設計に関する事項

の2項目について、調査・検討結果をとりまとめたものです。

当委員会は以下の委員により構成されます。

委員会	氏名	役職名等
委員長	北園 芳人	熊本大学 名誉教授
委員	地頭菌 隆	鹿児島大学 農学系 教授
	椋木 俊文	熊本大学 大学院先端科学研究部 准教授
	黒川 潮	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 九州支所 山地防災研究グループ グループ長
	久積 将史	林野庁 森林整備部 治山課 長寿命化推進官
	古賀 英雄	熊本県 農林水産部 森林保全課 課長
オブザーバー	野村 真一	国土交通省 九州地方整備局 熊本復興事務所 副所長
	中山 雅晴	熊本県 土木部 砂防課長
	古庄 広幸	南阿蘇村 総務課長
	江藤 誠喜	南阿蘇村 農政課長
	松本 敬二	南阿蘇村 復興推進課長
	堀江 秀理	九州旅客鉄道株式会社 鉄道事業本部 施設部 工事課 課長
	淵脇 晃	九州旅客鉄道株式会社 鉄道事業本部 施設部 豊肥本線復旧事務所 所長

本委員会の検討経過は以下のとおりです。

検討委員会	開催日	主な検討内容
第1回委員会	平成30年 9月27日	趣意説明・モニタリング結果・検討方針
第2回委員会	平成30年 10月11日	現地検討会
第3回委員会	平成30年 12月21日	メカニズムの整理・亀裂に対する対策方針

本報告書で提案する内容の実現に向けて、国、県、市町村、住民が協力して対応を進めていくことで、今後の災害の防災・減災が実現することを強く期待するものです。また、本検討は、現時点で得られている情報を基に検討をおこなったものであり、今後、新たな知見が得られた段階で適宜内容を見直すことが大切であるため、今後も検討を進めていただくことを望みます。

最後に、熊本地震で亡くなられた方々のご冥福を心からお祈りします。

平成31年3月
立野地区亀裂対策検討委員会 委員長 北園 芳人

目次

はじめに

1. 立野地区の概要	1
1.1 調査位置	1
1.2 地形特性	1
1.3 地質特性	2
1.4 降雨特性	7
1.5 風向・風速特性	15
2. 熊本地震に伴い発生した亀裂の概要	22
2.1 熊本地震の概要	22
2.2 熊本地震による土砂災害発生状況	24
2.3 亀裂の発生状況	25
3. 林野庁における亀裂のモニタリング結果	29
3.1 林野庁業務の概要	29
3.2 モニタリング亀裂の状況	32
3.3 モニタリング結果の概要	35
4. 地震に伴う亀裂に関する既往文献の整理	37
4.1 地震に伴う亀裂の既往文献リスト	37
4.2 岩手・宮城内陸地震で発生した亀裂の変状	37
4.3 地震後の降雨による危険斜面判定の既往研究	39
5. 熊本地震以降の降雨と土砂災害（亀裂の変状）の関連性	44
5.1 崩壊タイミングの整理	44
5.2 崩壊箇所ごとのタイプ区分及び発生状況	48
5.3 地震を経験した斜面における土砂災害発生状況	52
6. 亀裂発生メカニズム及び崩壊発生状況の整理	53
6.1 発生場所ごとのメカニズムの検討	53
6.2 土砂災害（崩壊・土砂流出）を誘発する地震亀裂のメカニズム	55
7. 今後の地震亀裂に対する対策方針（案）	60
7.1 「危険のある亀裂」の定義	60
7.2 検討対象範囲	61
7.3 危険度判定フローの検討	62
7.4 モニタリング亀裂の危険度判定（評価）	75
8. 対策工の考え方	78
8.1 亀裂に対して有効と考えられる対策工の検討	78
8.2 対策工の検討フロー（案）	82

9. 立野地区における危険度ランクの判定	83
9.1 危険度ランク判定手法.....	83
9.2 山腹崩壊危険地区（山 26-12）	86
9.3 山腹崩壊危険地区（山 26-13）	89
9.4 崩壊土砂流出危険箇所（崩 26-73 隣接部：き裂群 C）	93
10. 対策および観測手法の検討.....	96
10.1 各亀裂群における対策工の検討	96
10.2 亀裂群における観察対策の検討	98
10.3 対策工・観察対策における留意点.....	105
10.4 対策工の実施について.....	105
11. その他関連事項	106

1. 立野地区の概要

1.1 調査位置

本調査の対象区域は、熊本市の中心から東北東に約 25km に位置する阿蘇郡南阿蘇村の「立野地区」である（図 1.1 参照）。「立野地区」は、阿蘇カルデラの西側外輪山で、白川と黒川の合流点およびその下流の両岸に位置している。本業務においては、主に合流点より下流の右岸側に位置し家屋や田畑が広がる集落から一部 JR や国道を保全対象とする範囲までが対象となり、集落では、熊本地震により阿蘇立野病院をはじめ多くの家屋で被害が発生した。また、集落の裏山となる山地斜面では、熊本地震やその後の降雨により多くの崩壊・土砂災害が発生しており、山地内には未だ多くの亀裂が分布している。

「立野地区」の 360 世帯（約 880 人）は、「長期避難世帯」に認定されていたが、崩壊・土砂災害に対する復旧工事が進む中、2017 年 10 月 31 日に認定が解除され、徐々に地元住民が帰村しているものの 2019 年 3 月末現在の帰村率は約 30%にとどまっている。集落背後の森林内には、多数の亀裂が残存し安全性に不安が残ることから、崩壊・土砂災害対策に加え、亀裂に対する対応が望まれている。



図 1.1 立野地区位置図

1.2 地形特性

立野地区が位置する阿蘇カルデラは、直径 20km と世界でも有数の大型カルデラであり、中央部には中岳をはじめとする中央火口丘群がある。カルデラは、高さ 300～700m 程度のカルデラ壁に囲まれた大きな凹地形を呈しており、立野地区付近においては、400m 程度の高さを有する。

地形分類図（図 1.2 参照）によると、立野地区周辺は、阿蘇カルデラ西壁～西側外輪山に相当する

山地のうち「大起伏山地」に該当し、起伏量の大きな地形となる。また、白川沿いには、現河川から比高 20~30m 高位にある河成段丘面である「中・高位段丘面」が分布し、大起伏山地の山麓部に「崖錐・沖積錐・麓層面・土石流堆積面」である低地が分布している。

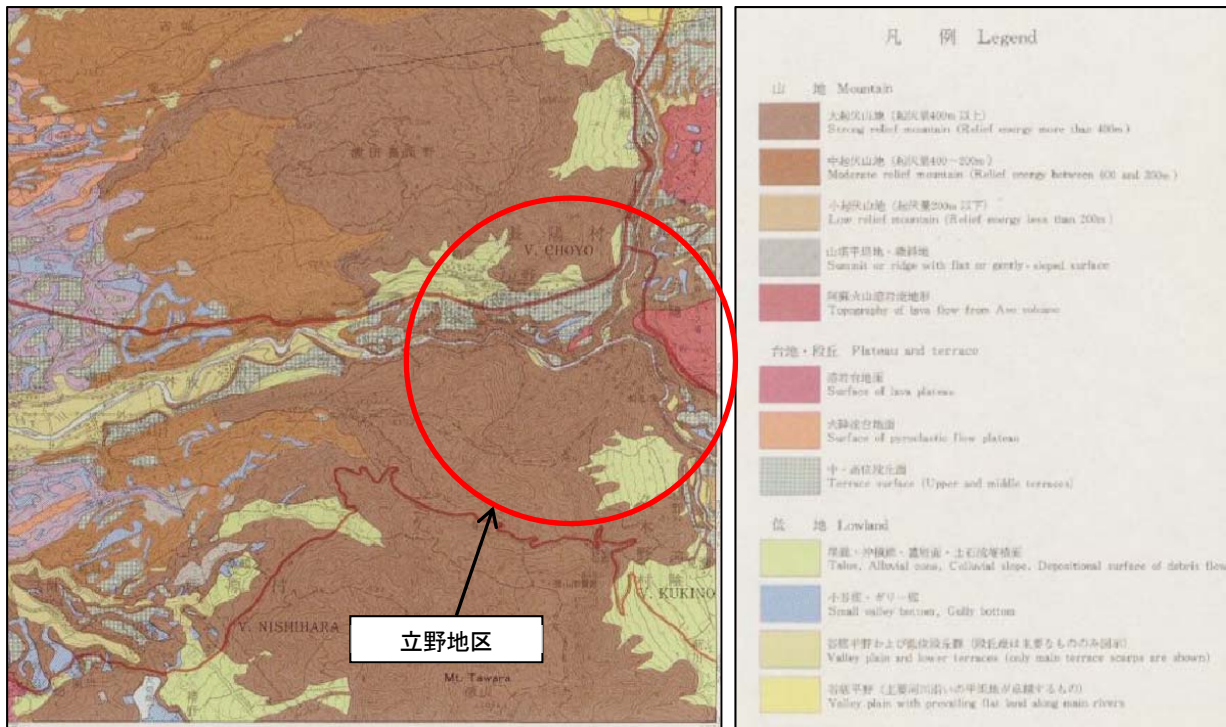


図 1.2 立野地区周辺の地形分類図（「土地分類基本調査・菊池」1982 熊本県）

1.3 地質特性

1.3.1 阿蘇周辺の地質と火山活動

阿蘇周辺の地質は、阿蘇中央火口丘の火山噴出物である溶岩、火砕流堆積物、転石、火山灰で構成され、溶岩の上に火山灰が厚く堆積している。火山の活動は、約 30 万年前にはじまったとされており、現在のカルデラと中央火口丘群は、9 万年前の阿蘇-4 火砕流噴火後に形成されたものである。中央火口丘群の中で、現在も活動しているのは中岳 (1,506m) のみであり、噴火活動に関する記録は西暦 553 年までさかのぼる。中岳は、複雑な構成を持つ成層火山で、古期山体形成後に西側半分が崩壊により失われ新規山体を形成している。

表 1.1 中岳の 1901 年以降の主な噴火記録

《出典：「日本地質図体系 九州地方（通産省工業技術院地質調査所監修：朝倉書店出版）」解説文より引用》

表33-1 1901年以降の主な噴火（小野・渡辺，1985に加筆）

1906年(明治39年)	6月7日第4火口の南外側斜面で噴火。現在の第5火口か？
1923年(大正12年)	第4火口爆発，活動盛。1・2火口も活動。
1928-30年(昭和3-5年)	たびたび噴火爆発。
1932年(昭和7年)	12月赤熱噴石・降灰。火口付近で負傷13名。
1933年(昭和8年)	近年の大活動。2-3月第2・1火口活動，多量の赤熱噴石と降灰。
1940年(昭和15年)	4月負傷1名，8月農作物に被害。
1953年(昭和28年)	4月27日爆発，死者6名負傷約90名。
1958年(昭和33年)	6月24日夜爆発，山上方向に噴石と低温火砕流，死者12名，負傷28名，建物に被害。
1965年(昭和40年)	10月31日未明爆発，建物に被害，翌年5月まで活動続く。
1974年(昭和49年)	4-8月噴火，降灰，農作物に被害。
1979年(昭和54年)	6-12月噴火，降灰950万トン，9月6日爆発，北東方向に噴石と低温火砕流，火口東駅付近で死者3名負傷11名。
1989-90年(平成元-2年)	7月-翌年12月噴火，降灰多量，農作物被害。

1.3.2 立野地区周辺の地質

立野地区周辺に分布する地質は外輪山西側を構成する輝石安山岩溶岩 (PA)、その上位に載る火砕流 (A2)、白川、黒川合流点東側で中央火口丘西端に位置する火山研究所溶岩 (V)、白川、黒川沿いに分布する赤瀬溶岩 (As)、立野溶岩 (Tt)、栃ノ木溶岩 (Tc) などがある。また、山麓部には比較的規模の大きい崖錐 (t) が分布する。それぞれの地質の特徴は以下のとおりである。

輝石安山岩溶岩 (PA)：俵山、鞍岳付近、カルデラ壁および火山砕屑物に覆われない斜面に分布する第三紀から第四紀の輝石安山岩溶岩および同質の火山砕屑岩類を一括したもの。

火砕流 (A2)：火砕流起源の火山砕屑物で、熔結凝灰岩からなり、一部に非熔結のスコリアを含む。

栃ノ木溶岩 (Tc)：栃ノ木溶岩は栃ノ木温泉裏の崖に露出する板状節理の発達した無斑晶の安山岩溶岩である。東方の長野北方の道路傍には同質の溶結火砕岩が露出する。鮎返ノ滝溶岩は白川峡谷の鮎返ノ滝を作る溶岩とその下位との2枚の玄武岩溶岩である。

立野溶岩 (Tt)：立野溶岩は黒川数鹿流ヶ滝から立野までの峡谷の谷壁を作る、柱状節理の発達した黒色の細粒安山岩溶岩。

火山研究所溶岩 (V)：京都大学火山研究所（現火山研究センター）のある小高い丘（567m）は、黒雲母流紋岩の溶岩ドームで、ここから厚さ40～50mの同質の溶岩が流出し、西側の立野火口瀬近くに達している。溶岩ドームと溶岩流はこれまで「火山研究所溶岩」と呼ばれてきた。溶岩のSiO₂量は72%で、中央火口丘群の溶岩のうち最も酸性の岩石である。

赤瀬溶岩 (As)：赤瀬溶岩は黒川下流赤瀬付近から数鹿流ヶ滝まで黒川の河床を作り、滝の下流は段丘状に立野駅西方まで連続する玄武岩の溶岩流である。AT火山灰より少し下位にあり、この時期の立野の白川峡谷の下刻の深さを示している。

崖錐 (t)：鞍岳、俵山の北～西麓及びカルデラ壁の直下などの地形変換点より下位に形成される淘汰不良の砂礫で、いろいろな時代のものを含んでいる。

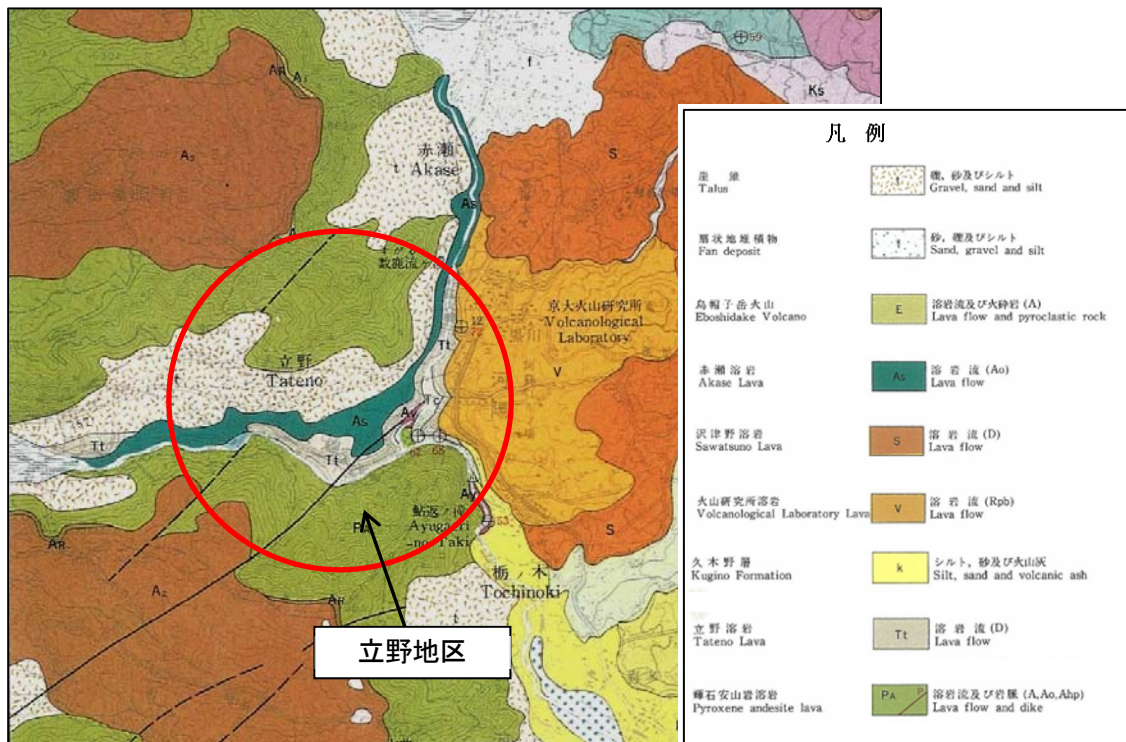


図 1.3 立野地区周辺の地質（「阿蘇火山地質」1985 地質調査所発行）

1.3.3 阿蘇大橋地区斜面崩壊地の地質

本調査地に隣接する阿蘇大橋の落橋に影響した大崩壊地は、国土交通省九州地方整備局による「阿蘇大橋地区復旧技術検討会」において調査や工事内容について検討が行われている。当該地区の地質は、第3回検討会資料（平成28年9月15日）に以下のとおり整理されており、もともと凸型を有する急斜面と火山性の脆い地質（亀裂の発達した安山岩）であったことが崩壊の素因であったとされている。

(1) 弾性波探査結果

- ✓ 地山弾性波速度（P波） $V_p \approx 1\text{km/s}$ 以下の低速度層は、表層から10～25m程度で、特に山頂部や大分側で厚い。
- ✓ 山頂部では、くしの歯状に速度層の落ち込みがみられ、亀裂に沿った風化の影響が深部まで考えられる。
- ✓ 弾性波探査の結果、地山弾性波速度 $V_p \approx 1\text{km/s}$ 以下の低速度層が、崩壊層厚とほぼ一致することから、 $V_p \approx 1\text{km/s}$ 以下が今回の地震で崩壊したと推定される。ボーリング調査結果などと考察した結果、この低速度層（ $V_p \approx 1\text{km/s}$ 以下）がゆるみ層と考えられる。

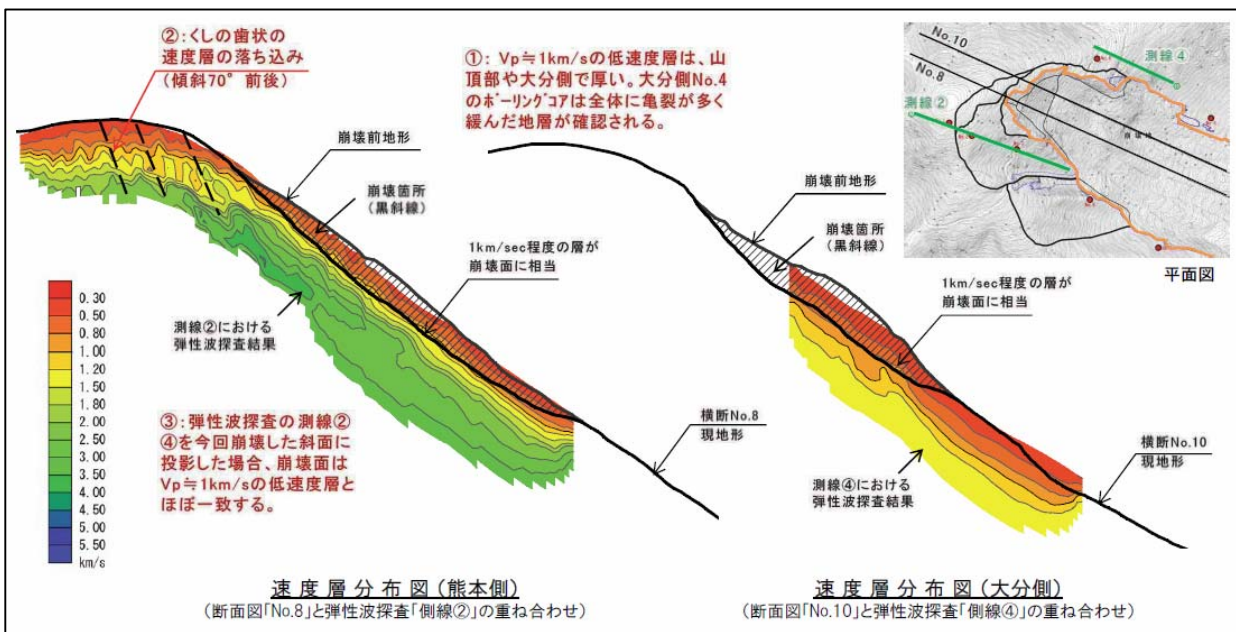


図 1.4 弾性波探査結果（阿蘇大橋地区復旧技術検討会 第3回資料 P.9 抜粋）

(2) ボーリング調査結果

- ✓ 先阿蘇火山岩類に属する安山岩と火砕岩（自破碎溶岩、凝灰角礫岩等）が交互に繰り返し、水平～緩い受け盤状に堆積する。
- ✓ 安山岩は硬質であるが、亀裂が発達し、一部空洞がみられる（An8層）。特に、斜面中腹部に分布する安山岩（An4-5-1・2層）は、亀裂沿いの劣化が進み脆い岩質である。また、火砕岩は風化が進むと全体的に軟らかく脆弱化する（硬軟互層）。
- ✓ 亀裂面は、ほぼ褐色に変色していることから、元来から開いた亀裂と推定される。また、亀裂面に鏡肌や粘土化帯は認められない。

- ✓ 亀裂開口量の深部からの累積は、地表部に向かい増大する（浅い深度程緩みの影響が大きい）。

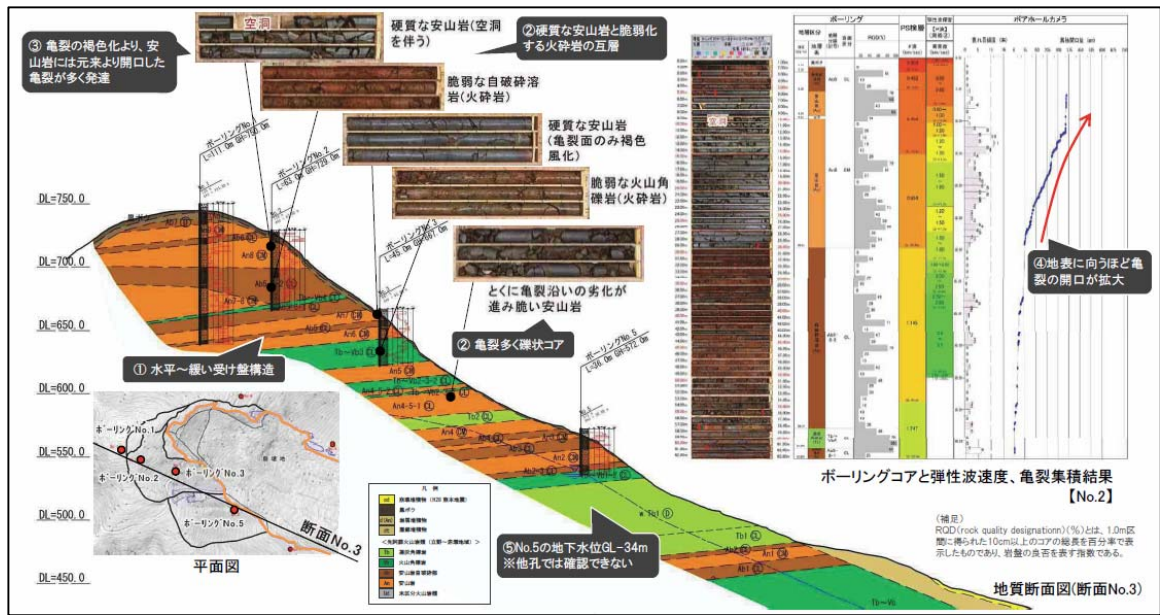


図 1.5 ボーリング調査結果（阿蘇大橋地区復旧技術検討会 第3回資料 P.10 抜粋）

(3) 崩壊要因

- ✓ 崩壊前の斜面中腹部には、遷急線と遷緩線で囲まれた、凸型地形を有する急斜面が带状に認められた（地形解析結果より）。
- ✓ 弾性波探査の結果、地山弾性波速度 $V_p \approx 1\text{km/s}$ 以下の低速度層が、崩壊層厚とほぼ一致することから、ボーリング調査結果等も加味すると、 $V_p \approx 1\text{km/s}$ 以浅が今回の地震で崩壊したと推定される。（弾性波探査結果より）。
- ✓ 凸型斜面に分布する安山岩（An4-5-1・2層）は、特に亀裂が多く、亀裂沿いの風化やゆるみが認められる（地形解析、地質解析より）。
- ✓ 土木学会等による阿蘇大橋地区の現地調査結果によれば、今回の崩壊に関しては、崩壊前の凸型斜面を有する急斜面と火山性の地質が素因となったことが報告されている。検討会での地形解析結果からは、同様の地形的特徴が確認されており、ボーリング調査の結果からは、凸型斜面で亀裂の発達した安山岩が見られるなど地質的にもろい状態であったことが確認された。

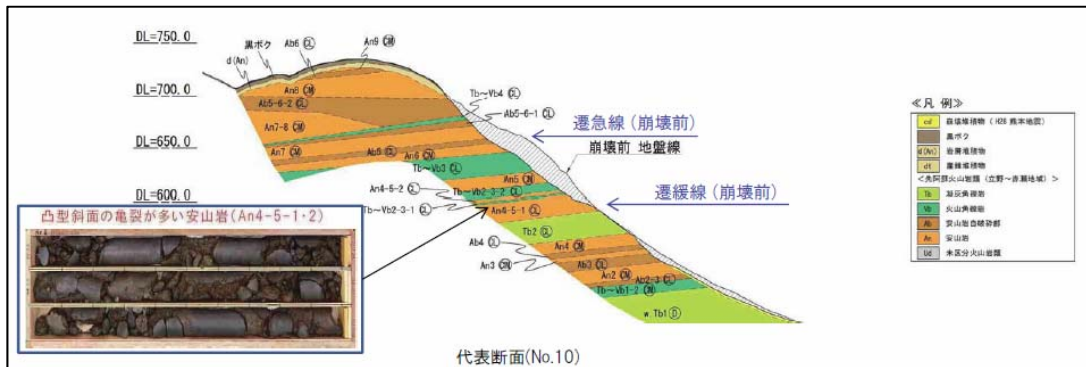


図 1.6 崩壊のメカニズム（阿蘇大橋地区復旧技術検討会 第3回資料 P.11 抜粋）

1.3.4 立野地区の地質

前述したとおり、立野地区では先阿蘇火山岩類の上部に黒ボク土や岩屑堆積物、崖錐堆積物等が堆積している地質構造となるが、現地では以下の特徴が見られた。

(1) 尾根付近

尾根部周辺の稜線部分には 1m 以上の巨礫が表土に埋もれた状態で点在している。巨礫はいずれも安山岩質の溶岩であり、節理が発達した礫や無構造の礫まで多様な状態となっている（写真 1.1）。

(2) 尾根部緩斜面～急斜面

尾根部に広がる緩斜面から遷急線直下にかけての斜面の表土層厚はおおむね薄く、その直下には自破碎溶岩と礫質粘性土が認められる。自破碎溶岩はいずれも尾根部で確認される安山岩質溶岩と同質である。また、表土と自破碎溶岩の間には黒ボク土が認められるが、その分布は一様でなく地形によるばらつきが認められる。自破碎溶岩においても、板状節理が発達したスレート状岩塊が卓越する斜面や風化を伴う無秩序な状態の斜面など多様な状態となっている（写真 1.2、写真 1.3）。

(3) 急崖部

遷急線以下では、岩盤露頭による急崖が確認される。岩質は安山岩だけでなく凝灰角礫岩の露頭も認められ、特に谷地形の内部に認められることが多い（写真 1.4）。



写真 1.1 尾根付近の巨礫転石群



写真 1.2 黒ボク土直下の自破碎溶岩



写真 1.4 スレート状の自破碎溶岩



写真 1.3 急崖部にみられる凝灰角礫岩露頭

1.4.1 各観測地点の降雨状況

(1) 年降水量の推移

「阿蘇乙姫」の年降水量の推移を図 1.8 に示す。1993年に5,000mmを越す降水量を記録しているが、平均では2,880mmと、年間3,000mmを若干下回る程度である。近年は、平均を越す年降水量を記録することが多くなっており、10年ごとの最大日雨量の平均の変化からも、降水量・降雨強度ともに大きくなっていることがわかる。

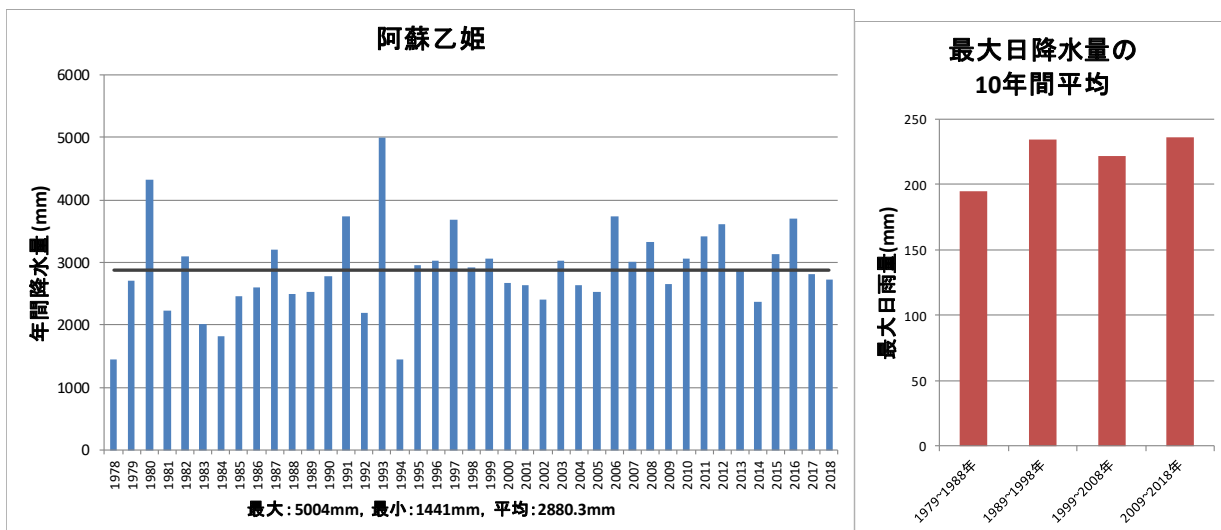


図 1.8 年降水量の推移と最大日降水量の変化

(2) 熊本地震以降の降雨状況

熊本地震以降には、各観測所で6～7月にかけて100mm/日を超える雨量が4回確認されており、最大時間雨量も70mmを超える強度の強い降雨が観測されている。表 1.3 からは、いずれの年においてもおおむね「阿蘇乙姫」で大きな値を示していることがわかる。階級別降雨日数では、ほとんどの観測所で10mm以内の降雨日数が約70%を占めている。

表 1.3 各観測所における降雨状況

期間	観測所	最大		平均		降雨日数					
		日雨量	時間雨量	日雨量	時間雨量	≥1mm	≥10mm	≥30mm	≥50mm	≥70mm	≥100mm
熊本地震以降	南阿蘇	172.5	77.0	8.5	3.2	333	186	78	40	23	15
	阿蘇乙姫	205.0	81.5	9.5	3.3	338	181	90	40	29	14
	益城	199.5	85.0	6.6	2.7	285	156	60	27	17	6
2016年	南阿蘇	172.5	77.0	11.4	4.5	113	64	33	19	11	7
	阿蘇乙姫	205.0	58.0	12.5	4.6	110	69	35	15	12	7
	益城	199.5	85.0	8.9	3.6	100	63	26	12	7	2
2017年	南阿蘇	150.0	60.5	6.7	2.6	134	75	26	10	6	3
	阿蘇乙姫	157.5	81.5	7.7	2.8	133	66	30	15	10	3
	益城	156.0	58.5	5.2	2.2	109	54	19	8	4	1
2018年	南阿蘇	143.0	42.5	7.8	2.6	87	47	19	11	6	5
	阿蘇乙姫	187.0	51.0	8.6	2.8	96	46	25	10	7	4
	益城	142.0	50.0	6.2	2.3	77	39	15	7	6	3

※「標高」南阿蘇:394m, 阿蘇乙姫:487m, 益城:193m

(3) 現地設置雨量計とアメダス観測所との整合について

立野地区では、熊本地震後の2017年1月20日より林野庁において雨量計が設置されており、観測が継続されている。2018年2月28日までの現地雨量計で観測された雨量データとアメダスデータと比較したところ、表1.4に示すとおり「益城」が最も高い相関を示しているものの、どの観測所においてもおおむね高い相関が得られている。回帰係数を見ると、阿蘇乙姫で現地観測雨量よりも若干大きな降雨が得られているが、その他は現地観測雨量の方が全体的に大きな雨量を示している。

表 1.4 (1) 現地観測データと気象庁観測データの決定係数

	決定係数 R ²			
	全データ	1mm 以上	10mm 以上	30mm 以上
南阿蘇	0.814	0.7605	0.6826	0.5368
阿蘇乙姫	0.8145	0.7606	0.6631	0.4789
益城	0.8474	0.8113	0.7482	0.6999
データ数	405	157	71	27

表 1.4 (2) 現地観測データと気象庁観測データの回帰係数

	回帰係数			
	全データ	1mm 以上	10mm 以上	30mm 以上
南阿蘇	0.8921	0.8715	0.8705	0.9185
阿蘇乙姫	1.0303	1.0106	0.9749	0.9606
益城	0.7724	0.7843	0.8059	0.9603
データ数	405	157	71	27

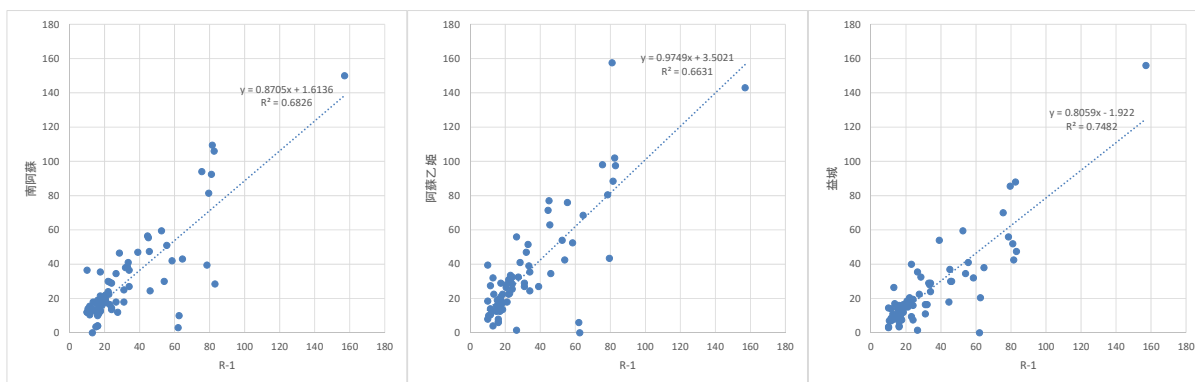


図 1.9 現地観測データと気象観測データの相関図

(4) 確率雨量

現地雨量計より大きな値をとる「阿蘇乙姫」と若干低い値をとるが整合の高い「益城」の観測所データを用いて、日降水量の確率規模を算出した。確率規模はガンベルチョー法を用い算出したが、各

観測所の確率規模日降水量は表 1.5 に示すとおりとなり、既往最大、熊本地震後最大の確率規模は表 1.6 に示すとおりであった。

「阿蘇乙姫」では、1990 年（九州北部豪雨）、2012 年（H24 九州北部豪雨）の豪雨により、確率規模の雨量が引き上げられており、「益城」と大きな違いがみられる。熊本地震後の最大日雨量は、「阿蘇乙姫」で約 2 年確率規模、「益城」でも 4 年確率規模相当であり、熊本地震後の降雨は、既往最大（H24 九州北部豪雨）と比べると大きな降雨を経験しているとは言えない。

表 1.5 各観測所の確率規模日降水量

確率規模 (年)	日降水量(mm)	
	阿蘇乙姫	益城
2	209.3	166.0
10	330.6	245.4
30	403.6	293.1
50	436.9	314.9
100	481.9	344.3
データ数	39	16.0

表 1.6 最大日雨量の確率規模

	阿蘇乙姫		益城	
	日雨量	発生日	日雨量	発生日
既往最大 (確率規模)	493.0	2012/7/12	292.0	2003/7/12
	(100年確率以上)		(30年確率規模相当)	
熊本地震後最大 (確率規模)	205.0	2016/6/22	199.5	2016/6/20
	(2年確率未満)		(4年確率規模相当)	

(5) 連続雨量（一連のまとまった降雨）

確率規模日降水量では、大きな降雨を経験したとは言えないものの、降雨が連続し累積値が大きくなると、崩壊・土砂災害等が発生しやすくなる。そこで、熊本地震後の大きな一連の降雨として、以下の条件にあてはまる一連の降雨を抽出した。ここでの一連の降雨とは、前後 24 時間に無降雨期間があるひとまとまりの降雨のことを指す。なお、2016 年 6 月後半の降雨が連続雨量、日雨量ともに地震後最大であったことから、その前後で抽出する降雨基準を変えた。

- ✓ 2016 年 7 月までの 50mm/日以上が確認される一連の降雨（3 期間）
- ✓ 2016 年 7 月以降の 150mm/日以上が確認される一連の降雨（4 期間）
- ✓ 参考として、H24 年 7 月九州北部豪雨時の一連の降雨（既往最大）

表 1.7 熊本地震以降の大きな一連の降雨（阿蘇乙姫観測所）

No.	一連の降雨※		連続雨量 (mm)	最大日雨量		備考 (降雨要因、関連災害など)
	期間	日数		雨量 (mm)	観測日	
①	2016年	4/21～4/22	125.5	125	2016/4/21	前線を伴った低気圧
②		5/8～5/11	143	72	2016/5/10	前線を伴った低気圧
③		6/18～6/25	645.5	205	2016/6/22	梅雨前線
④		7/8～7/14	478.5	179.5	2016/7/13	梅雨前線
⑤	2017年	7/4～7/9	440.5	157.5	2017/7/4	H29年7月九州北部豪雨
⑥	2018年	6/18～6/21	340	187	2018/6/19	梅雨前線
⑦		7/1～7/8	392	165.5	2018/7/6	H30年7月豪雨
参考	2012年	7/11～7/14	816.5	493	2012/7/12	H24年7月九州北部豪雨

※ 前後に24時間の無降雨期間があるひとまとまりの降雨

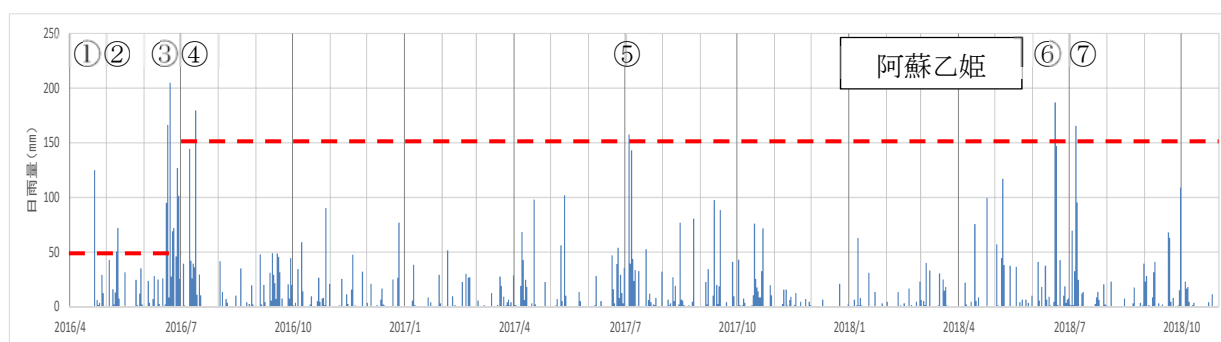


図 1.10 熊本地震以降の「阿蘇乙姫」観測所の日降雨量

以下に、各一連の降雨の詳細（時間雨量・連続雨量・日雨量）を整理した。

図 1.11 によると、熊本地震後（4/16）の早い段階（1週間以内）で日雨量 100mm を超える降雨を観測している。

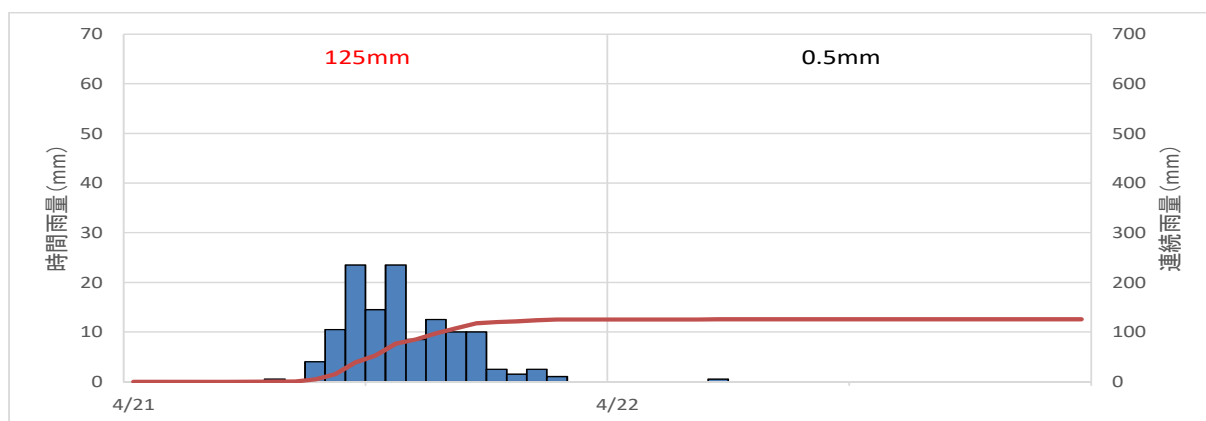


図 1.11 ①2016/4/21～4/22 までの一連の降雨

図 1.12 によると、②の降雨はすべての期間で日雨量 100mm 以下となっているものの、連続雨量は①を超える 143mm を記録している。

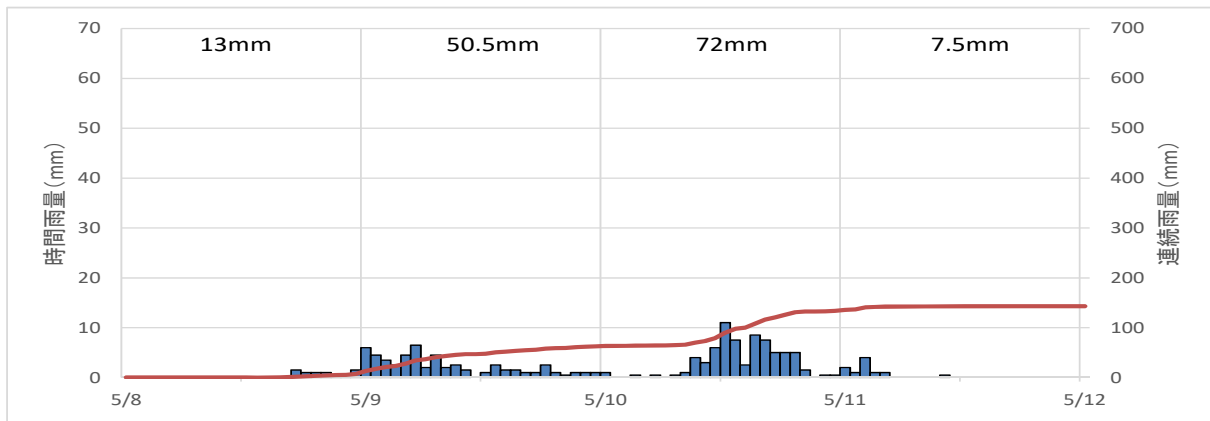


図 1.12 ②2016/5/8～5/11 までの一連の降雨

熊本地震以降の最大降雨で、期間内に日雨量 100mm 越える日が 2 日見られ、内 1 日は 200mm/日以上の降雨を記録している。最大日雨量の前後でも降雨量が多く、連続雨量は、645.5mm を記録している。

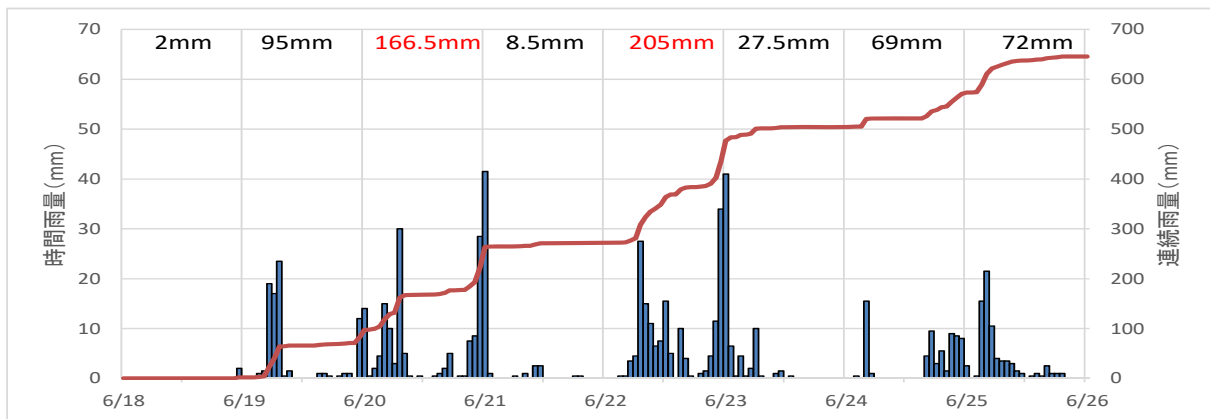


図 1.13 ③2016/6/18～6/25 までの一連の降雨

熊本地震以降では、③の降雨に次いで大きな降雨であり、③同様、期間内に日雨量 100mm を超える日が 2 日見られるが、その他の日は比較的降雨量が少ない。

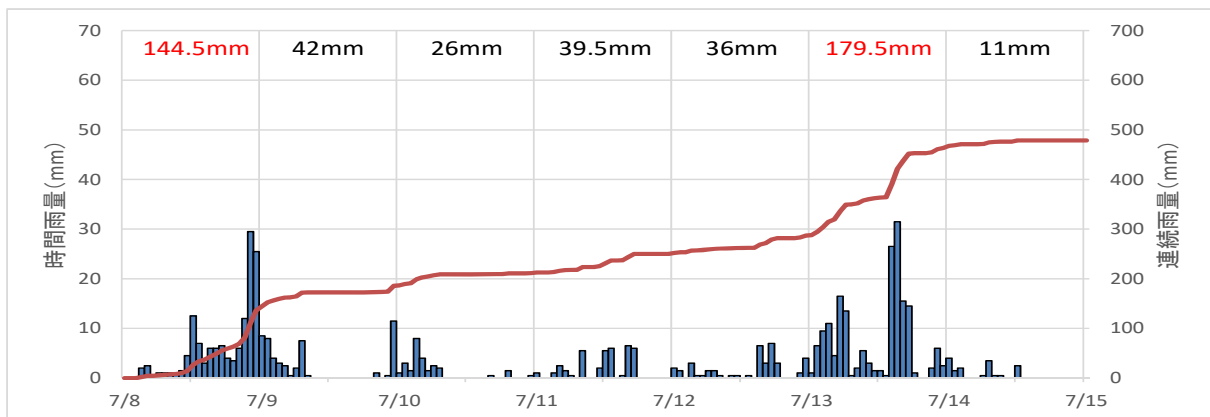


図 1.14 ④2016/7/8～7/14 までの一連の降雨

④降雨の降雨量に近く、期間内に日雨量 100mm 以上が 2 日見られる。図 1.15 によると時間雨量が突出しており、短時間に集中した一連の降雨であったと考えられる。

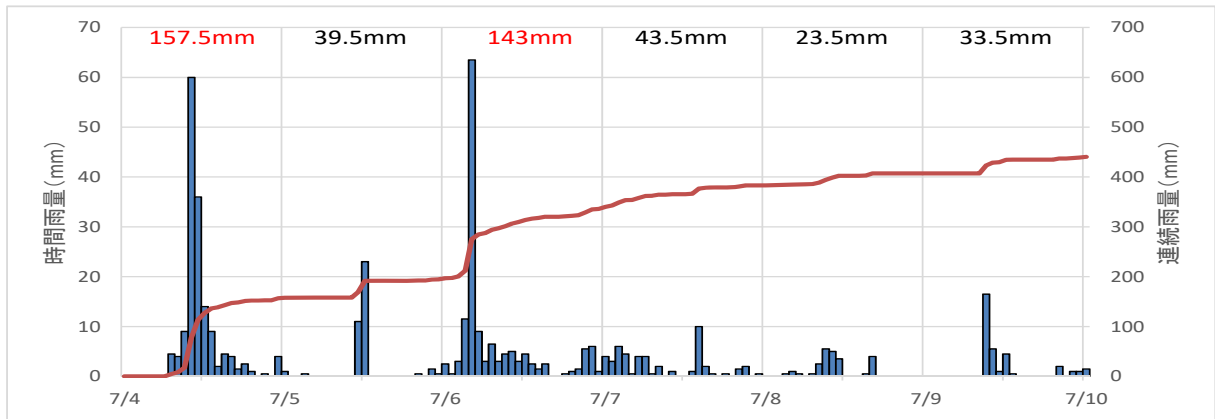


図 1.15 ⑤2017/7/4～7/9 までの一連の降雨

③～⑤までと同様、日雨量 100mm 以上が 2 日間みられるが、連続的に集中しており前後の降雨量は少なかったことがわかる。

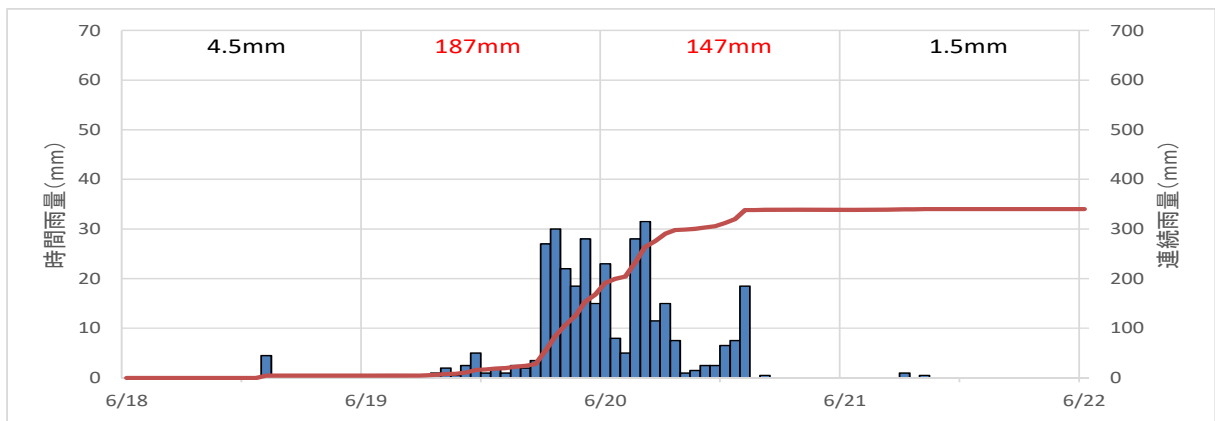


図 1.16 ⑥2018/6/18～6/21 までの一連の降雨

③と同様、長い期間連続した降雨であるが、連続降雨量はそれほど大きな降雨量とはなっていない。

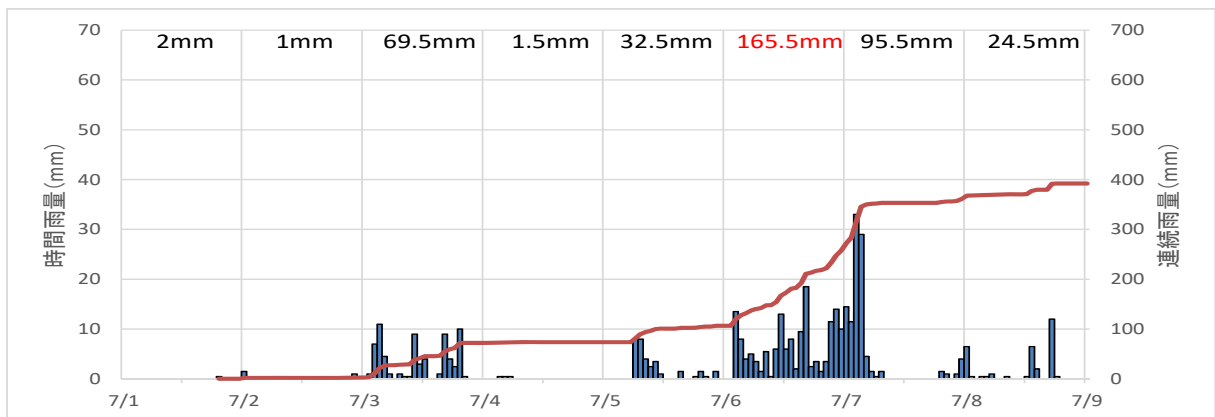


図 1.17 ⑦2018/7/1～7/8 までの一連の降雨

日雨量が 100mm を超える降雨が 3 日間連続し、時間雨量も 100mm を超えており、最大日雨量が 493mm と④や⑤の連続雨量に匹敵する降雨が 1 日で観測されている。

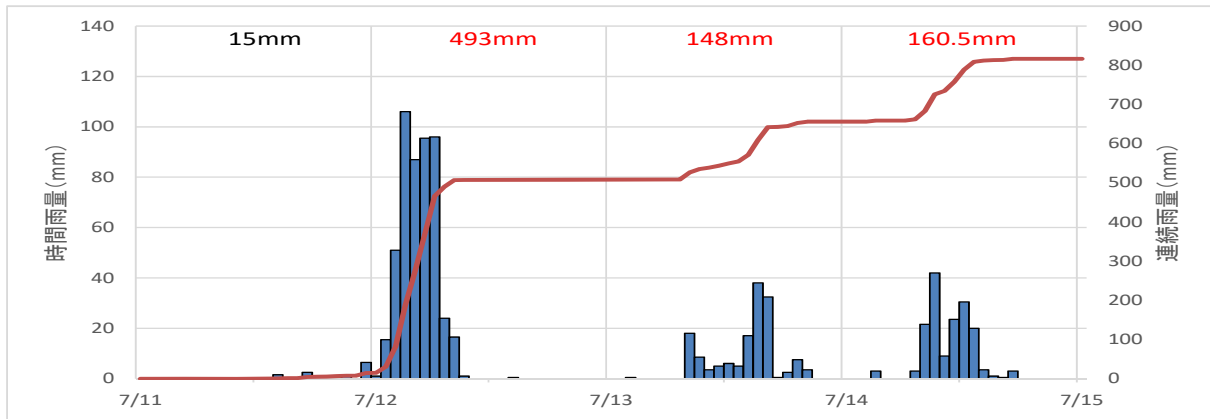


図 1.18 ⑧既往最大 (2012/7/11～7/14) の一連の降雨 (縦軸スケールが異なることに注意)

立野地区では、毎年梅雨時期の 6～7 月に大きな一連の降雨が発生している。ただし、地震以降の最大連続雨量は、③の 645.5mm (日雨量 205mm/日) であり、既往最大の H24 九州北部豪雨時と比較すると日雨量、時間雨量ともにそれほど大きな一連の降雨であるとはいえない。

(6) 実効雨量

前項を踏まえ、熊本地震後に最大日雨量を記録した 2016 年 6 月後半から 7 月初旬 (③、④) にかけての一連の降雨について、半減期を 1 日と 3 日にした実効雨量を図 1.19 のとおり整理した。既往最大日雨量を記録した 2012 年 7 月近辺の実効雨量を整理した図 1.20 と比較すると、熊本地震後は既往最大日雨量を記録した近辺と比較しても 1/2 程度の雨量であることがわかる。

このことから、立野地区近辺では熊本地震後にそれほど大きな降雨を経験しているわけではなく、今後さらに大きな降雨を経験する可能性が高いと考えられる。

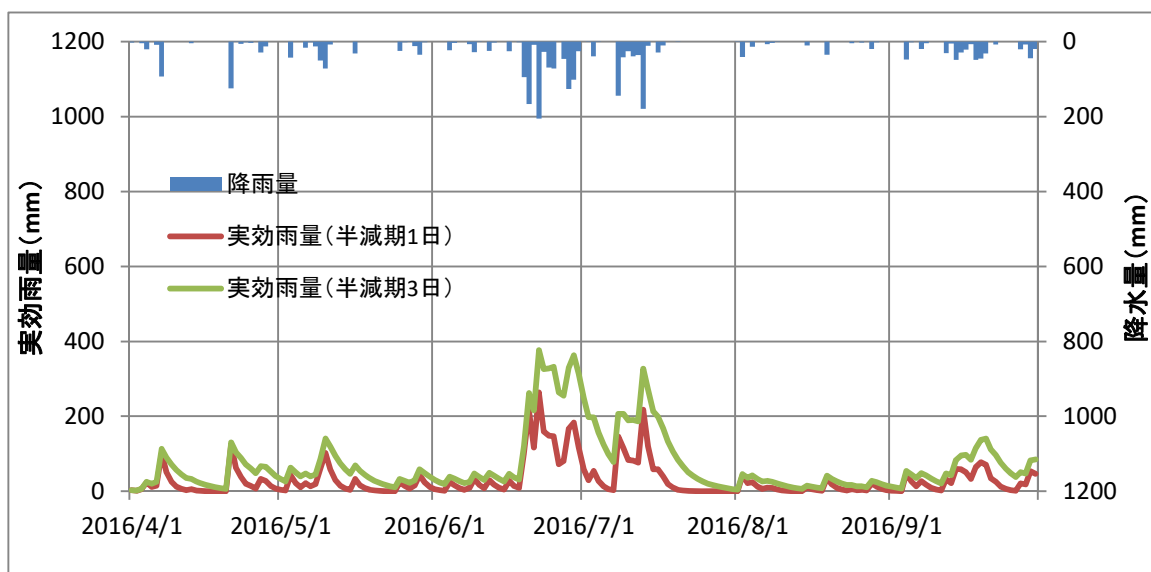


図 1.19 2016 年熊本地震後の最大日雨量時前後の実効雨量 (半減期 1 日、3 日)

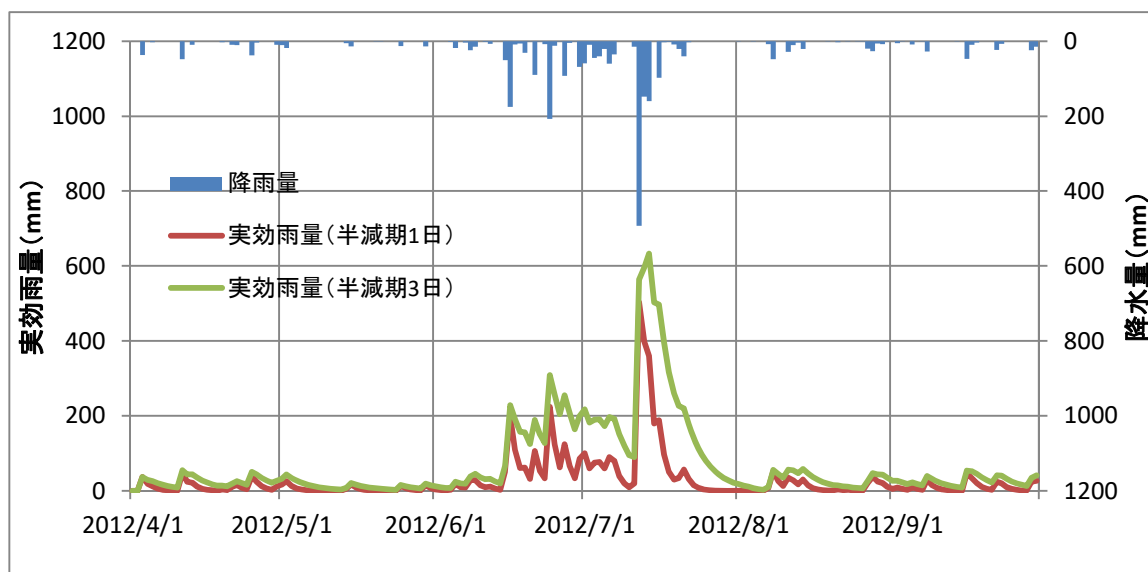


図 1.20 2012 年（H24 九州北部豪雨）既往最大日雨量時前後の実効雨量（半減期 1 日、3 日）

1.5 風向・風速特性

1.5.1 アメダス観測所

立野地区周辺の風向・風速観測については、降雨データを整理した気象庁アメダスの観測所で実施されている。熊本地震以降の3か年の平均風速、最大風速、最大瞬間風速を表 1.8 に整理した。

地震以降の風速としては、最大瞬間風速で 25~27m/s を記録しており、気象庁による風の強さでは「強い風」に分類される。2018 年 9 月 30 日に熊本付近に接近した台風 24 号においても、「阿蘇乙姫」で最大風速：約 16m/s、最大瞬間風速：約 27m/s の強い風を観測しており、既往最大を更新している。

表 1.8 アメダス観測所における風向風速（熊本地震以降）

期間	観測所	平均風速	最大風速			最大瞬間風速			最多風向
			風速(m/s)	風向	発生日	風速(m/s)	風向	発生日	
熊本地震以降	南阿蘇	1.77	13.7	南西	2017/7/4	26.8	西南西	2017/7/4	西南西
	阿蘇乙姫	2.17	16.1	北	2018/9/30	26.6	北	2018/9/30	南西
	益城	2.45	17.5	南南西	2017/7/4	25.2	南南西	2017/7/4	東北東
2016年	南阿蘇	1.58	7.8	東南東	2016/5/3	20.0	東	2016/9/20	西南西
	阿蘇乙姫	1.91	10.2	南西	2016/7/13	20.1	西南西	2016/4/21	南西
	益城	2.27	12.2	西南西	2016/5/4	19.5	西南西	2016/6/20	東北東
2017年	南阿蘇	1.60	13.7	南西	2017/7/4	26.8	西南西	2017/7/4	西南西
	阿蘇乙姫	2.05	11.4	南西	2017/2/20	22.7	南西	2017/2/17	南西
	益城	2.44	17.5	南南西	2017/7/4	25.2	南南西	2017/7/4	東北東
2018年	南阿蘇	2.03	10.8	東南東	2018/8/22	24.3	西	2018/4/14	西北西
	阿蘇乙姫	2.40	16.1	北	2018/9/30	26.6	北	2018/9/30	南西
	益城	2.49	13.0	北東	2018/2/28	19.5	南東	2018/8/22	東北東

※熊本地震以降・・・2016年4月16日～2018/12/31

※2017年7月4日・・・台風3号、2018年9月30日・・・台風24号

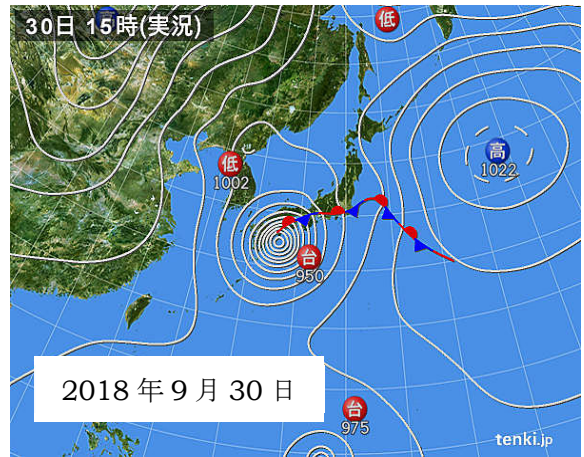


図 1.21 最大風速を観測した台風時の気圧配置 ((一財) 日本気象協会 HP より)

最大瞬間風速の頻度データとしては、平均風速で 1.5m/s、最大瞬間風速で 10m/s 付近が最頻値となり、最大瞬間風速 20m/s を超えるような頻度は非常に少なくなっている。

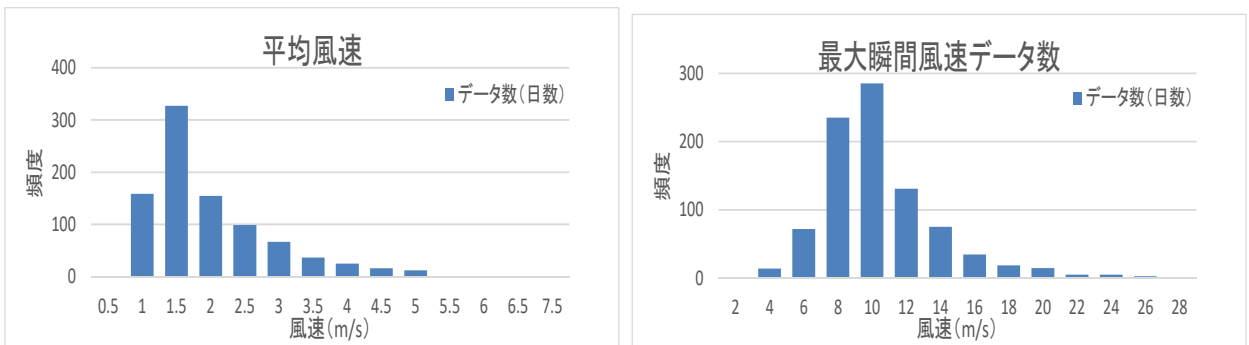


図 1.22 「阿蘇乙姫」の風速出現頻度 (日数)

各観測所における最大風速、最大瞬間風速の風速階級別風向配置図を図 1.23、図 1.24 のとおり整理した。図 1.24 をみると、南阿蘇では西南西、阿蘇乙姫では南西の風向がいずれの階級でも多いことがわかる。ただし、風速が 10m/s を超えるような場合には、東～東南東方向の風もみられることがわかる。

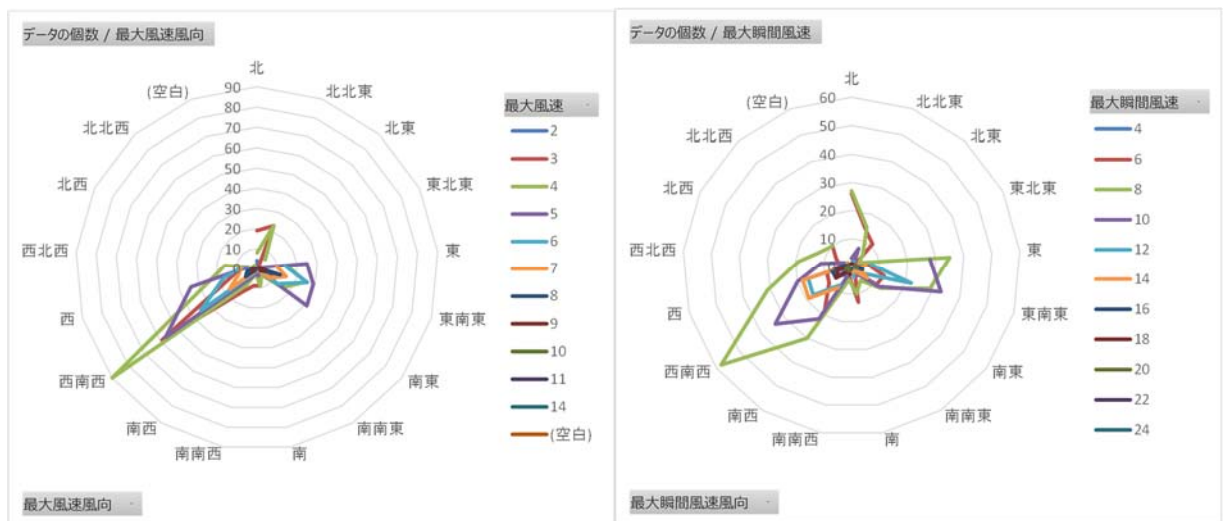


図 1.23 「南阿蘇」風速階級別風向配置図 (左図：最大風速、右図：最大瞬間風速)

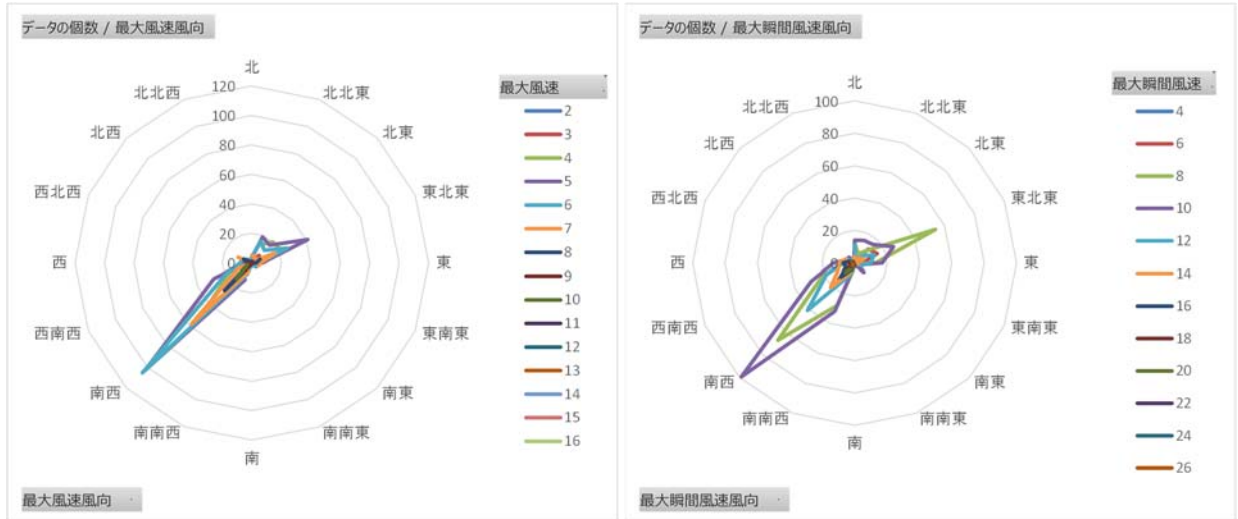


図 1.24 「阿蘇乙姫」風速階級別風向配置図（左図：最大風速、右図：最大瞬間風速）

表 1.9 気象庁で定める風の強さ（気象庁 HP より）

風の強さ (予報用語)	平均風速 (m/s)	およその 時速	速さの目安	人への影響	屋外・樹木の様子	走行中の車	建造物	およその 瞬間風速 (m/s)
やや強い風	10以上 15未満	~50km	一般道路 の自動車	風に向かって歩きにくくなる。 傘がさせない。	樹木全体が揺れ始める。 電線が揺れ始める。	道路の吹流しの角度が水平に なり、高速運転中では横風に 流される感覚を受ける。	樋(とい)が揺れ始める。	20
強い風	15以上 20未満	~70km	高速道路 の自動車	風に向かって歩けなくなり、 転倒する人も出る。 高所での作業はきわめて危険。	電線が鳴り始める。 看板やトタン板が外れ始め る。	高速運転中では、横風に流さ れる感覚が大きくなる。	屋根瓦・屋根葺材がはがれるもの がある。 雨戸やシャッターが揺れる。	
非常に強い風	20以上 25未満	~90km		特急電車	何かにつかまっていなくて 立ってられない。 飛来物によって負傷するおそ れがある。	細い木の幹が折れたり、根 の張っていない木が倒れ始 める。 看板が落下・飛散する。 道路標識が傾く。	通常の速度で運転するのが 困難になる。	屋根瓦・屋根葺材が飛散するもの がある。 固定されていないプレハブ小屋が移 動、転倒する。 ビニールハウスのフィルム(被覆材) が広範囲に破れる。
	25以上 30未満	~110km	固定の不十分な金属屋根の葺材が めくれる。 養生の不十分な仮設足場が崩落する。					
猛烈な風	30以上 35未満	~125km	特急電車	屋外での行動は極めて危険。	多くの樹木が倒れる。 電柱や街灯で倒れるもの がある。 ブロック壁で倒壊するもの がある。	走行中のトラックが横転する。	外装材が広範囲にわたって飛散し、 下地材が露出するものがある。	50
	35以上 40未満	~140km					住家で倒壊するものがある。 鉄骨構造物で変形するものがある。	
	40以上	140km~						60

(注1) 強風によって災害が起こるおそれのあるときは強風注意報を、暴風によって重大な災害が発生するおそれのあるときは暴風警報を、さらに重大な災害が起こるおそれが著しく大きいときは暴風特別警報を発表して警戒や注意を呼びかけます。なお、警報や注意報の基準は地域によって異なります。
(注2) 平均風速は10分間の平均、瞬間風速は3秒間の平均です。風の吹き方は絶えず強弱の変動があり、瞬間風速は平均風速の1.5倍程度になることが多いですが、大気の状態が不安定な場合等は3倍以上になることがあります。
(注3) この表を使用される際は、以下の点にご注意下さい。
1. 風速は地形や周りの建物などに影響されますので、その場所での風速は近くにある観測所の値と大きく異なることがあります。
2. 風速が同じであっても、対象となる建物、構造物の状態や風の吹き方によって被害が異なる場合があります。この表では、ある風速が観測された際に、通常発生する現象や被害を記述していますので、これより大きな被害が発生したり、逆に小さな被害にとどまる場合もあります。
3. 人や物への影響は日本風工学会の「瞬間風速と人や街の様子との関係」を参考に作成しています。今後、表現など実状と合わなくなった場合には内容を変更することがあります。

※ https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo_hp/kazehyo.pdf (平成 29 年 9 月一部改正版)

1.5.2 現地観測（国土交通省設置風速計）

立野地区では、国土交通省により阿蘇大橋地区の斜面崩壊箇所において風向風速計が表 1.10 に示す 2 か所に設置され、10 分間隔での観測が実施されている。

表 1.10 国土交通省設置の風速計（観測開始日）

設置場所	観測開始	データ整理
山頂	2018年7月21日 9:40～	8/1～11/30（122日間）
ガリー	2018年8月2日 11:30～	8/7～11/30（115日間）

※表中「データ整理」は、本報告書内で使用したデータ期間

本業務において整理した 8 月～11 月と同一期間の現地観測データとアメダス観測所のデータ（阿蘇乙姫・南阿蘇）を整理すると、表 1.11 のとおり最大風速や最大瞬間風速で現地観測データの方が大きな値を記録している。

表 1.11 現地観測データおよびアメダス観測所の風速比較

期間	観測所	平均風速	最大風速			最大瞬間風速			最多風向
			風速 (m/s)	風向	発生日	風速 (m/s)	風向	発生日	
2018/8/1～11/30	阿蘇乙姫	2.4	16.1	北	2018/9/30	26.6	北	2018/9/30	南西
	南阿蘇	1.8	10.8	東南東	2018/8/22	18.9	東南東	2018/8/22	西南西
	国交省・山頂	3.5	17.5	南東	2018/8/22	31.8	南東	2018/8/22	東
2018/8/7～11/30	国交省・ガリー	2.6	21.4	東	2018/9/30	31.2	東	2018/8/22	東

図 1.25、図 1.26 に示した最大風速、最大瞬間風速の時間毎の変化では、現地観測データ（山頂・ガリー）はおおむね同傾向で推移するものの、場所が異なる「阿蘇乙姫」、「南阿蘇」については、ややずれがみられる結果となり、特に、風向は場所により大きく異なっている。また、最大瞬間風速 20m/s を超える「強い風」が観測された時期は、いずれも台風によるものであり、当該地区が台風時に大きな風速にさらされていることが確認できる。特に、現地観測データがアメダス観測値を上回っていた台風 7 号（2018/8/22）、台風 24 号（2018/9/30）時の気圧配置および最大瞬間風速・風向について図 1.27、図 1.28 に整理した。

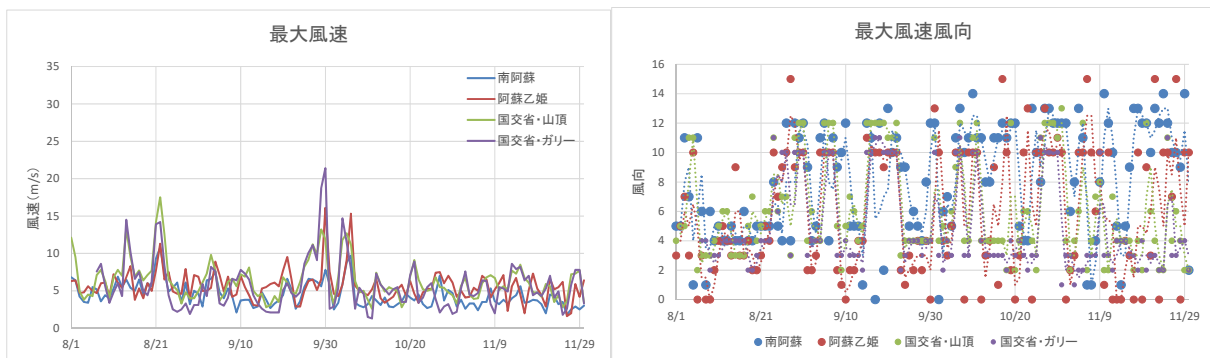


図 1.25 各観測所の最大風速・風向（2018/8/1～11/30）

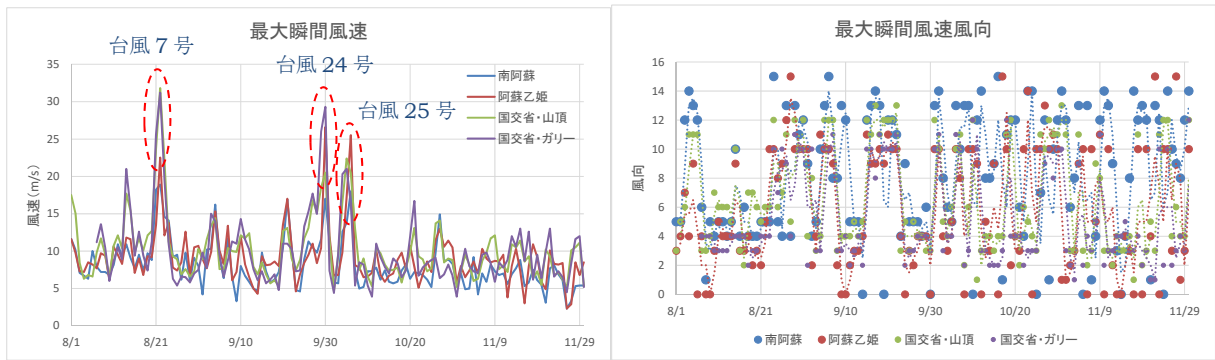
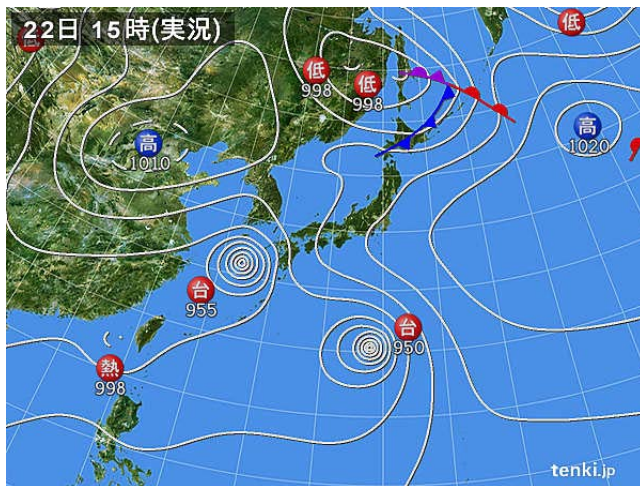


図 1.26 各観測所の瞬間最大風速・風向 (2018/8/1~11/30)

【台風7号】

東シナ海上空を進み九州の外側を回り込む形で北上する進路をとった台風であり、風向はどの観測所データも東北東～南東方向の風が吹き、同様の傾向を示している。



番号	風向
0	北
1	北北東
2	北東
3	東北東
4	東
5	東南東
6	南東
7	南南東
8	南
9	南南西
10	南西
11	西南西
12	西
13	西北西
14	北西
15	北北西

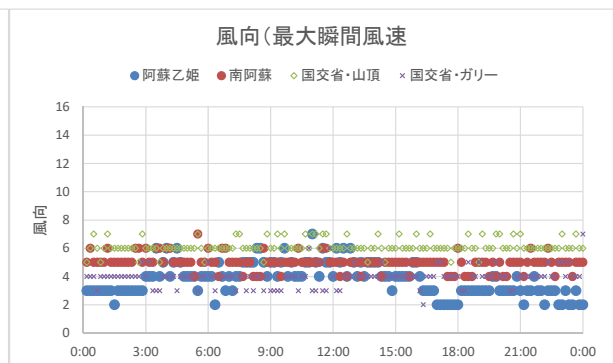
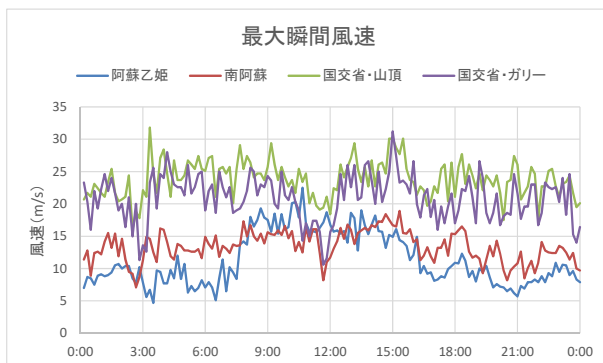
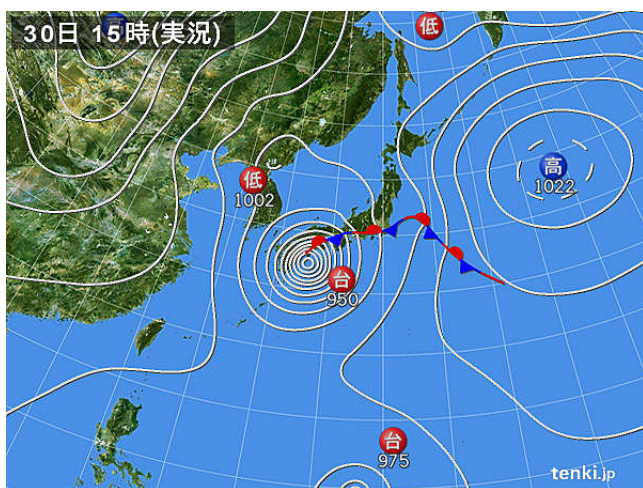


図 1.27 台風7号 (2018/8/22) 時の気圧配置と最大瞬間風速・風向

【台風 24 号】

九州に上陸し、熊本県上空をかすめる進路で北上した台風であったため、風向も各観測所でばらつきが多く、特に午前と午後では風向が大きく異なっている。これらのことから、当該地区の風向・風速は、台風に大きな影響を受けているものと考えられる。



番号	風向
0	北
1	北北東
2	北東
3	東北東
4	東
5	東南東
6	南東
7	南南東
8	南
9	南南西
10	南西
11	西南西
12	西
13	西北西
14	北西
15	北北西

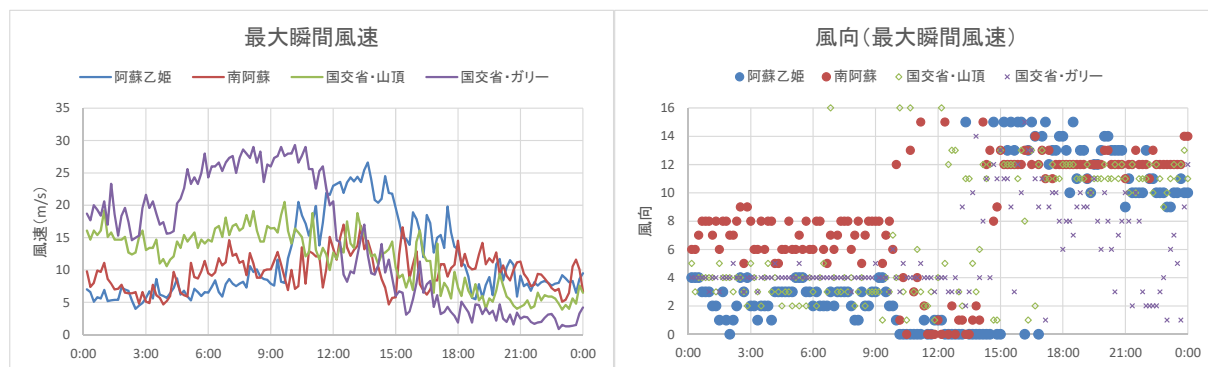


図 1.28 台風 24 号 (2018/9/30) 時の気圧配置と最大瞬間風速・風向

現地観測データの最大風速、最大瞬間風速の風速階級別風向配置図を整理すると、山頂観測所では西、東方向の風が多く、ガリー観測所では南西、東北東方向の風が多く観測される。ただし、いずれの観測所においても 10m/s を超える風は東北東～東方向で多く見られる。

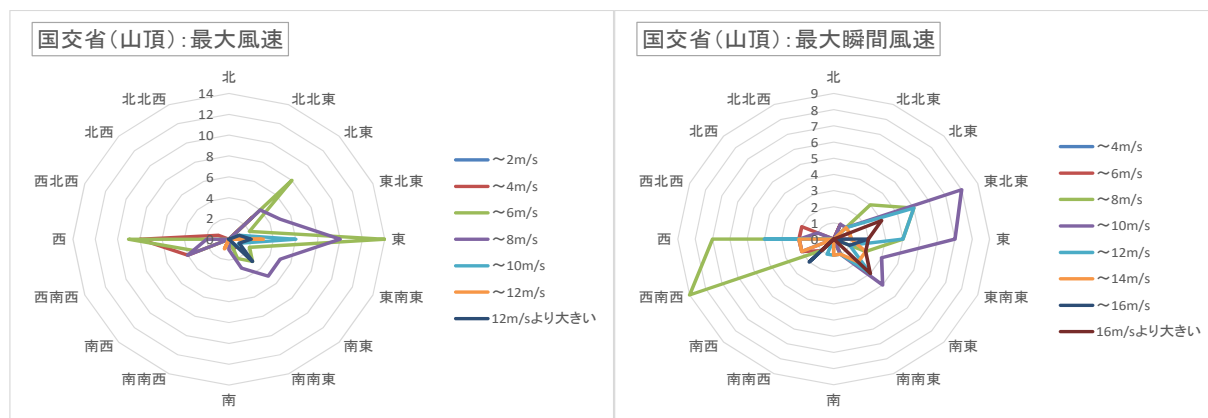


図 1.29 「山頂」風速階級別風向配置図 (左図：最大風速、右図：最大瞬間風速)

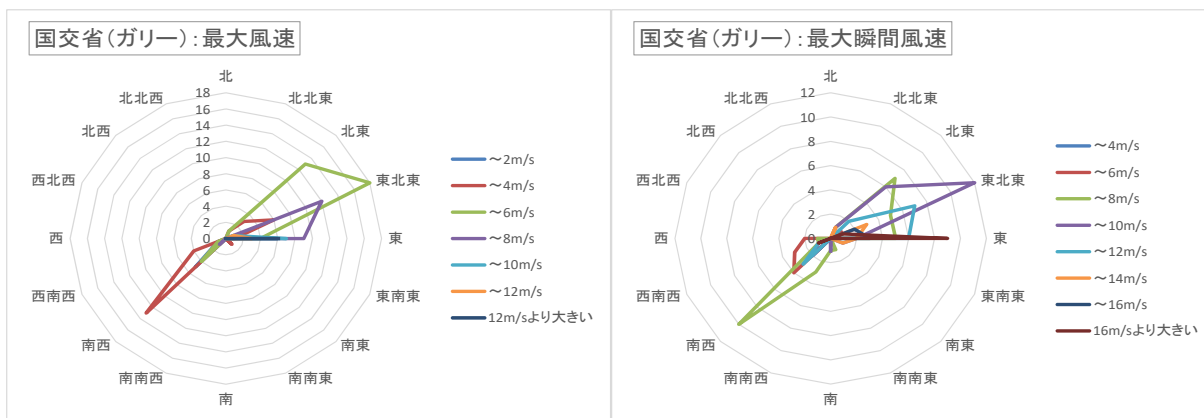


図 1.30 「ガリー」風速階級別風向配置図（左図：最大風速、右図：最大瞬間風速）

1.5.3 現地観測データとアメダス観測データの比較

現地観測データ（山頂）とアメダス観測データの最大瞬間風速の関係を図 1.31 に示す。先にも示したとおり、アメダス観測所よりも現地観測所の方が若干高い風速を示すことがわかる。

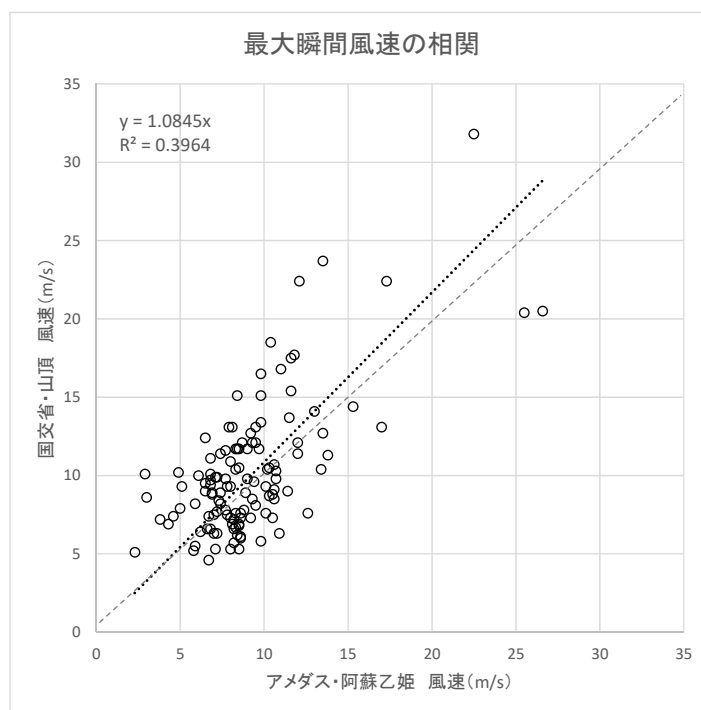


図 1.31 山頂・阿蘇乙姫観測データの最大瞬間風速の関係

現段階では、観測期間中の最大瞬間風速が 30m/s 程度で、10m/s を超える強風は台風時のみに発生していることから、当該地区において風倒木が発生するような強風は確認されていないといえる。