

【建設工学研究所論文報告集第 58 号〔報告〕2016 年 11 月】

2016 年熊本地震被災地踏査報告

Report of an On-site Survey for Damaged Areas

Appeared by Kumamoto Earthquake in 2016

沖村 孝 荒木 繁幸 高橋 浩一
Takashi Okimura Shigeyuki Araki Koichi Takahashi

1. はじめに

2016 年 4 月 14 日 21 時 26 分頃、九州熊本地方（北緯 32.7 度、東経 130.8 度）を震央とする Mj6.5、震源の深さ約 11km の地震が発生した。この地震により、熊本県上益城郡益城町で震度 7 を、熊本市東区、西区、南区、玉名市、宇城市、阿蘇郡西原村で震度 6 弱を観測した。その 28 時間後の 4 月 16 日 1 時 25 分頃に 14 日とほぼ同じ場所（北緯 32.8 度、東経 130.8 度）で震源の深さ約 12 km で Mj7.3 の地震が再び発生した。この地震の大きさは、1995 年に阪神・淡路大震災の原因となった兵庫県南部地震とほぼ同じ大きさであった。この地震により益城町では再び震度 7 が観測されるとともに、西原村でも震度 7 が観測された。また震度 6 強は、南阿蘇村、菊池市、宇土市、菊池郡大津町、上益城郡嘉島町、宇城市、合志市、熊本市中央区、東区、西区で観測されるなど、広域にわたって震度 5 弱以上が観測された¹⁾。これらの地震は内陸型の地震であり、気象庁では当初 14 日の地震を「本震」と発表していたが、16 日の地震を受けて、この地震が本震であり、14 日の地震は「前震」であると 16 日に訂正した。

熊本地方では、南阿蘇村付近から宇土半島に至る南南西方向に「布田川断層帯」が、また「日奈久断層帯」呼ばれる断層が益城町付近から南西方向に走っている。地震調査研究推進本部の発表では、布田川断層帯では平均活動間隔は 8,100~26,000 年程度の間隔で、1 回のずれ量は 2m 程度、日奈久断層帯は 3,600~11,000 年程度の平均活動間隔で、3 m 程度の上下方向のずれとそれ以上の量の右横ずれが起きる可能性があるとしている²⁾。今回の 2 回の地震の震央はこの 2 つの断層帯の交差部付近に位置している。この背景や踏査をもとに考えられる布田川断層帯の今回の地震のメカニズムは、南北引張型に起因する右横ずれ断層であり、この痕跡は後述する現地踏査でも地表に出現した断層により確認された。

今回の地震動の大きな特徴は、2 度にわたる震度 7 の出現に加えて、余震が長く継続したことであった。気象庁の発表によれば、屋内にいる人のほとんどが揺れを感じることができる震度 3 以上の余震は 4 月で 318 回、5 月で 51 回、6 月で 19 回、7 月で 9 回、8 月は 10 日までで 3 回も観測され³⁾、迅速を要する復旧作業が大きく遅れる要因になっていることが大きな特徴である。

被災を見ると、この地震による住家の被災は、全壊が 8,006 棟、半壊 27,672 棟、一部損壊が 130,746 棟にも達している⁴⁾。過疎地で起きた直下型地震の被災例として、全壊 4,172 棟、半壊 13,810 棟であった 2004 年の中越地震による被災⁵⁾と比較すると、今回の地震では全壊が倍以上にも達していることが特徴であるが、これは 2 度にわたる震度 7 と長時間継続した余震の影響と思われる。この地震を直接の原因として亡くなられた方は 49 名、行方不明 1 名であった⁴⁾が、8 月 14 日に行方不明 1 人の遺体が発見、身元が確認されたため、死者は 50 名となった。このうち 37 名 (74%) の方が家屋の倒壊による被災、11 名 (22%) の方が土砂災害によるものであることが報告⁶⁾されている。1995 年の阪神・淡路大震災では神戸市内で家屋の倒壊による死因が全死者の 83.3% であった⁷⁾。阪神・淡路大震災は都市域で発生した

地震のため人家が稠密に立地していたことが大きな原因と考えられたが、今回の熊本地震では、阪神・淡路大震災の被災地ほど稠密ではない地域にも拘らず家屋の倒壊による死者が多かった。その理由としては、前震で全壊を免れた家屋に避難されていた人が多く、本震による強震を受けて家屋が全壊することにより尊い人命が失われた事例が多かったものと推察できる。

余震活動が小康状態となった7月4日から6日の3日間、筆者らは現地を訪れ、被災の実態をこの眼で確認することができた。6月下旬の熊本地方はまだ梅雨の最中であり多くの雨が降っていたが、この調査期間は幸いにも晴天に恵まれ、というより35度近くの酷暑の中での調査となった。

以下では、調査を行った順に、阿蘇カルデラ内の地盤被災踏査、阿蘇山外輪山斜面での崩壊地踏査、活断層が出現した立野地区から西原村にかけての地表面変動踏査、益城町における家屋被災原因踏査、熊本市南区の液状化被災踏査について報告する。

2. 地震の概要

図-1は「平成28年(2016年)熊本地震」に関連した地震の震央分布図である⁸⁾。領域Aの中央部で、4月14日21時26分(Mj6.5、最大震度7)、4月14日22時07分(Mj5.8、最大震度6弱)、4月15日00時03分(Mj6.4、最大震度6強)と3つの大きな地震が立て続けに発生した後、4月16日01時25分(Mj7.3、最大震度7)に本震がこの近くで発生し、その後震央は北東に移動し、4月16日01時45分(Mj5.9、最大震度6弱)、4月16日09時48分(Mj5.4、最大震度6弱)が発生、その間に、さらに東の領域Bで4月16日03時03分(Mj5.9、最大震度5強)、4月16日03時55分(Mj5.8、最大震度6強)が発生している。その後、さらに東の大分県に至る領域Cで4月16日07時11分(Mj5.4、最大震度5弱)が領域Aと領域Bを繋ぐほぼ直線上で発生した。これは布田川断層帯と呼ばれる活断層に相当している。これらの地震は約34時間弱の間に7回もの震度6弱以上の強さで連続して発生したことが大きな特徴としてあげられる。

布田川断層帯は、「都市圏活断層図」では立野の近くで東北端となっているが、地震後の国土地理院による電子基準点による地殻水平変動を示した図-2の左図では断層モデルは、阿蘇外輪山を越えて東へ延びていることが示されている⁹⁾。また人工衛星による4月15日から16日の地表の移動データを示したものが図-3である¹⁰⁾。この図より、断層に沿って大きな右横ずれが観測されているが、断層から離れると、北側と南側に分離するように変動しており、引張型の横ずれ断層の特徴を示している。一方、合成開口レーダ(SAR)による鉛直方向の地表変動量を示したものが図-4である¹¹⁾。断層北側は、西原村を中心に約1.2mの沈降を示し、南側は0.4mの隆起を示している。この図は広域の結果を示したものである。阪神・淡路大震災時に淡路島の野島断層で見られた活断層に沿った隆起は、今回の調査では観察できず、水平変位のみが顕著に出現していた。



図-1 震央分布図および時空間分布図⁸⁾

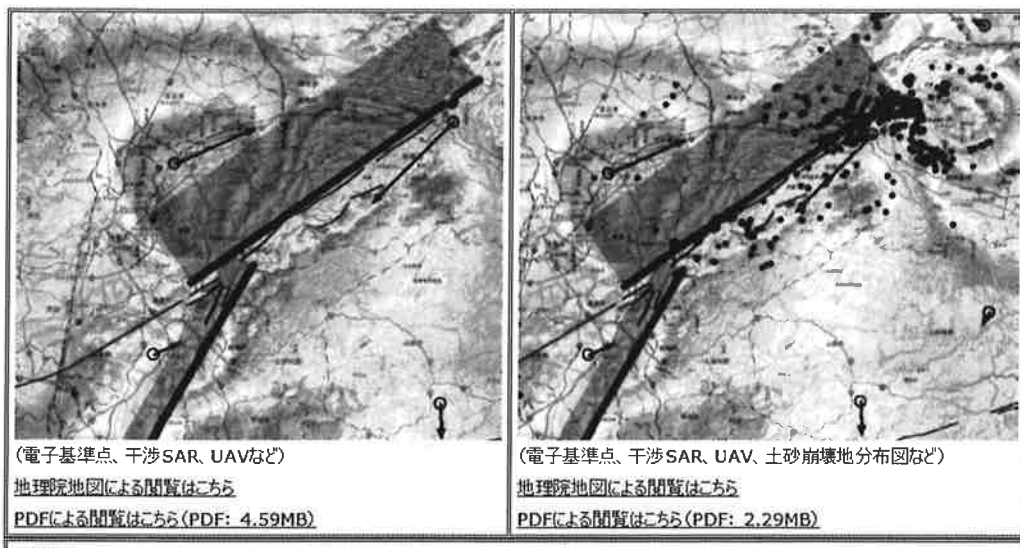
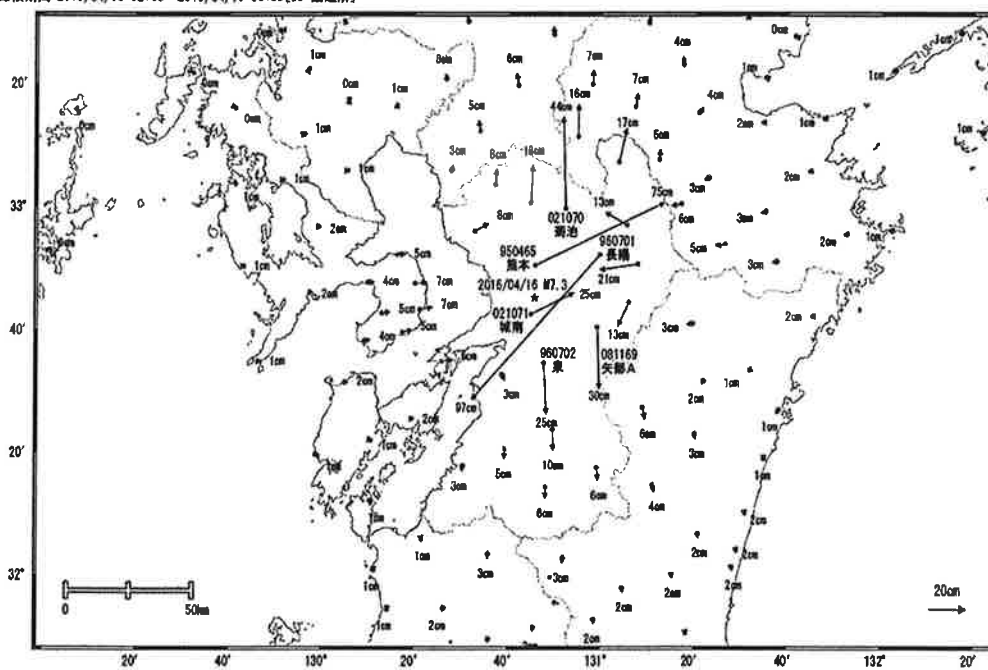


図-2 「電子基準点による地殻変動(水平)」情報の修正⁹⁾

平成28年4月16日の熊本県熊本地方の地震(M7.3) (暫定値)前後の観測データ (1)
地殻変動(水平)

暫定

基準期間:2016/04/15 03:00~2016/04/15 23:59[03:迅速解]
比較期間:2016/04/16 02:00~2016/04/16 05:59[03:迅速解]



☆ 固定局:福江(950462)

国土院提供

図-3 平成28年4月16日の熊本県熊本地方の地震(M7.3)前後の地殻水平変動¹⁰⁾

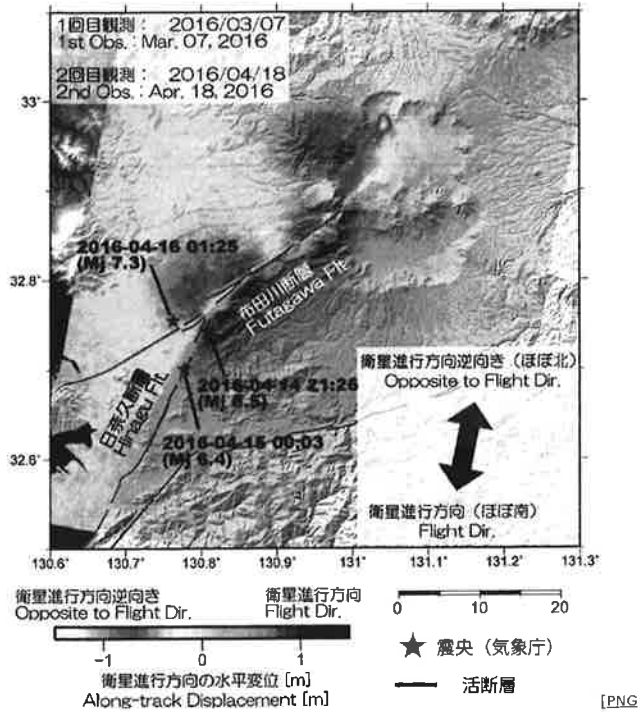


図-4 合成開口レーダのMAI解析結果¹¹⁾

3. 阿蘇カルデラの陥没

踏査は熊本からは、菊池阿蘇スカイラインを通過して阿蘇カルデラに入った。北側の外輪山は、写真-1に示すように山頂はほぼ同じ高さで連なり、この地形を利用して通称ミルクロードと呼ばれる菊池阿蘇スカイラインが通っている。この途中にかぶと岩展望所が建設され、阿蘇谷と呼ばれる阿蘇カルデラ北側の全景が望める場所があった(図-5)が、地震により写真-2のように破壊していた。この展望所があった場所からの阿蘇谷の様子を写真-3に、阿蘇山火口丘の様子を写真-4に示す。写真-3より、広大なカルデラ盆地が存在し、主に農地として活用されていることがわかる。写真-4よりカルデラ盆地内にある火山性堆積物でおおわれた火口丘では、地震とその後の降雨による崩壊が多発していた。

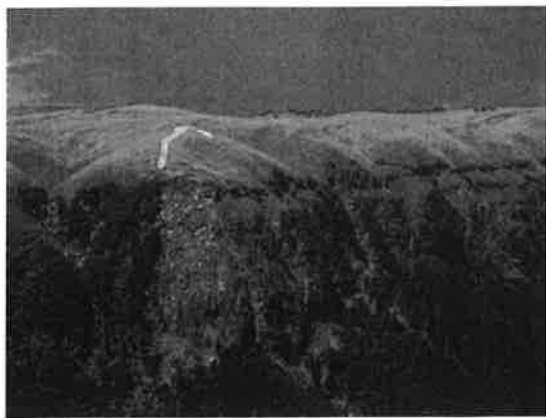


写真-1 スカイラインがほぼ平坦な阿蘇北外輪山



写真-2 かぶと岩展望所崩壊直後の状況



図-5 かぶと岩展望所の位置図



写真-3 阿蘇カルデラ北側の阿蘇谷



写真-4 阿蘇中岳火口丘の表層崩壊

カルデラとは、輪郭が円形またはそれに近く、急崖に囲まれた火山性の凹陷地で普通の火口より大きいもので、ポルトガル語で大鍋の意味がある¹²⁾。阿蘇カルデラは、約30万年前から7～8万年前まで4回の大きな噴火があったといわれ、最後の噴火は最も大きな噴火で、この噴火により現在の阿蘇の地形ができたといわれている¹³⁾。一般に火山の噴火は火山灰、軽石、火砕流、溶岩等が噴出する。阿蘇カルデラは火山の噴出により地表がマグマ溜りに落ち込むことで凹陷地ができたもので、密度の小さな破碎された岩石や火砕物で埋められ、その後、水が湛えられた時期が少なくとも2回あったといわれている。古い時期の方は南郷谷を埋積し、新しい時期の湛水は阿蘇谷を埋積し、現在のカルデラ床が形成されたようである¹³⁾。

菊池阿蘇スカイラインの途中で右折し、大観峰を左に見ながらカルデラ壁を下ると内牧地区に到達する。ここは温泉で有名な町であるが、町の南はずれの道路の途中に約1mの大きな段差が南落ちで現れていた(図-6のA地点)。この段差の様子を写真-5に示す。この段差上に位置していた家屋は大きく南側へ傾倒していた(写真-6)。この段差は、図-6に示すように、ほぼ北東から南西方向に現れていた。一方、B地点の県道175号線を横断していたキレツの走行もほぼ同じ方向であった(写真-7)。この場所での鉛直方向の変位量は1.5m程度にも達していた(写真-8)。この県道に沿ったおよそ40m離れた南側では、今度は北落ちのやはり1.5m程度の段差が現れていた。すなわち、南落ちと北落ちの小崖が一對となり、その間の地表が陥没していた。図-6に示すB地点の西には、写真-9に示すようにビニールハウスがあったが、この陥没変位はビニールハウスの一部を通ったため、ビニールハウスが陥没に伴って大きく変形していた。

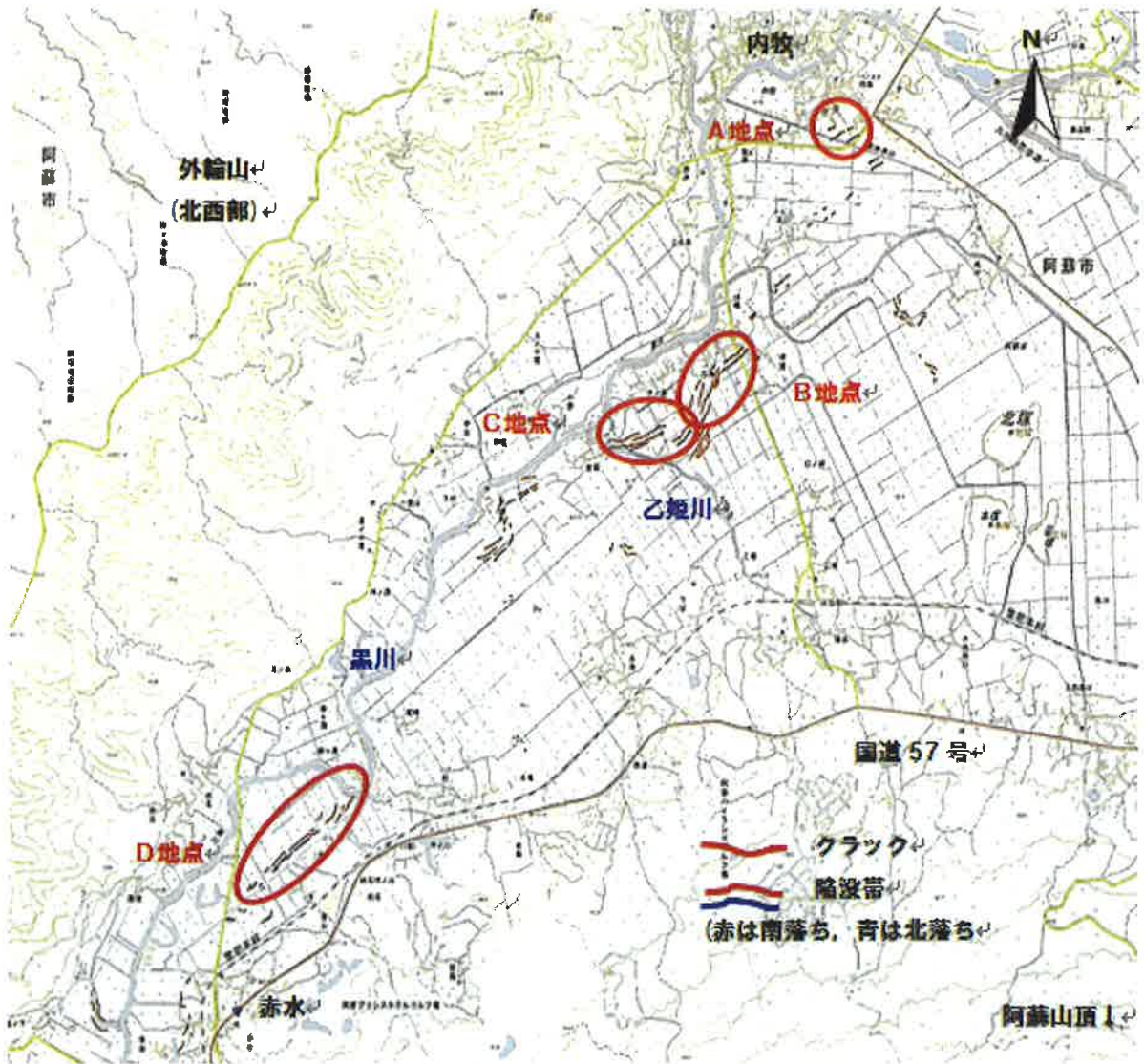


図-6 阿蘇カルデラ内の調査地点



写真-5 A地点の道路の陥没(手前が陥没)



写真-6 A地点の陥没段差上に位置する家屋の傾き



写真-7 B地点の県道を横断する陥没崖



写真-8 B地点の南落ち1.5mに達する陥没崖



写真-9 B地点の陥没によるビニールハウスの変状

写真-10は図-6のC地点東側付近の様子であるが、ここでも農道に大きな落差が出現し応急処置として小崖が土砂で覆われスロープになっていた。この農道の東側では6月下旬の豪雨による雨水が排水できず、水溜りとなっていた。写真-11は写真-10の陥没を横から見たものであるが、写真中央の小崖が南落ち、右側の崖が北落ちでその間が陥没し、水溜りができている様子がわかる。



写真-10 C地点のJA東側の陥没



写真-11 C地点の西から東を見た陥没

図-6のC地点では、農道が大きく陥没し、一部が水没していた(写真-12)。この陥没はさらに西側にも続き、乙姫川を横断していた。乙姫川右岸の取り付け道路のブロック積擁壁やガードレールは陥没により大きく変形していた(写真

-13)。取り付け道路のみならず、堤体本体も陥没により沈下したため、越流の危険性を防ぐため、両岸の堤体には大型土嚢が設置されていた（写真-14）。この陥没帯は乙姫川の左岸側にも続き、写真-15 に示すように、そこに立っていた家屋にも被害を与えた。左の家屋は北落ちの変形により右に傾き、右側の家屋は南落ちの変形により左側に傾斜していた。

さらに西側に行くと、図-6 のD地点では送電鉄塔が南側に傾斜していたが、ここでも大きな陥没帯が出現し、水溜りができていた（写真-16）。県道を右折して農道に入ると写真-17 に示すような北落ちの1mほどの段差が現れ、車はここで停車した。さらに農道を北に進むと大きな段差が2つほど現れてきた（写真-18）。写真で同行者が立っている肩の下には写真-19 に示すような2m近くの大きな北落ちの段差が出現しており、南落ちの段差は写真-18 の奥の方の段差であった。



写真-12 C地点の農道の陥没



写真-13 C地点の河川取り付け道路ブロックの変形



写真-14 大型土嚢による嵩上げ（乙姫川）



写真-15 陥没による家屋の傾倒（乙姫川左岸）



写真-16 D地点の陥没帯と傾倒した鉄塔



写真-17 D地点の農道に出現した陥没壁①

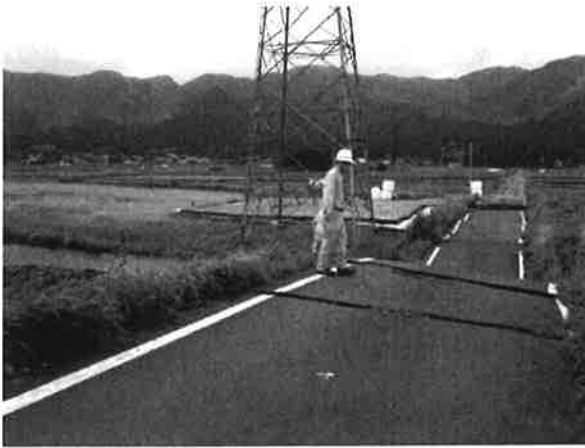


写真-18 南側から見た農道 人が立っているのが陥没壁②



写真-19 D地点の鉄塔近くの陥没壁②

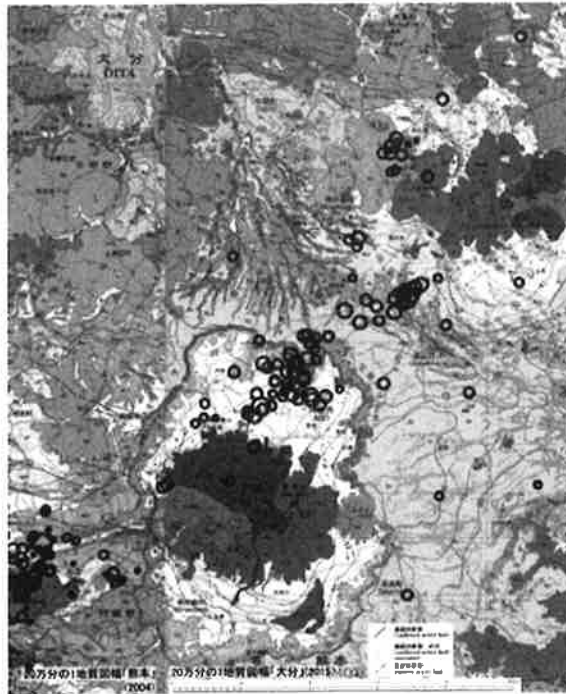


図-7 阿蘇谷の余震分布³⁾

図-7はこの付近の余震分布図である⁹⁾。これより布田川断層帯の延長上に阿蘇谷カルデラにも余震の震央が現れ、この分布はさらに北東側の大分県の方まで伸びていることがわかる。しかし、図-2に示したように布田川断層帯はカルデラ内までは確認されていないが、この付近でも布田川断層帯の特徴である引張型の特徴が北西の外輪山にも影響を及ぼしている可能性がある。

日本応用地質学会の熊本・大分地震災害調査団による調査報告速報版(その1)¹⁴⁾によると、2010年の航空レーザー計測地形データ(1mDEM)と2016年4月20日に国際航業株式会社が計測した地形データ(1mDEM)の異なる2時期のDEMを用いて、図-6とほぼ同じ範囲を対象にした数値地形画像マッチング解析の結果から、1)解析領域全体としては北～北東方向へ0.5～1.5m程度の変位が認められること、2)これは図-3に示した国土地理院による変位方向とほぼ一致していること、3)カルデラ内の西～北部で隆起が認められること、4)内牧地区(図-6のA地点)、狩尾地区(図-6のB、C地点)および石的地区(図-6のD地点)において、それぞれ1～2km四方の範囲で北～北西方向に2～5mの大きな移動が出現したことを報告している。

三地区の移動域を図-6に示した陥没場所と重ね合わせると、いずれの地区も移動域の南東側に陥没場所が出現することも上述した速報版(その1)¹⁴⁾に示されている。これより、A～C地点の陥没は、2～5mの移動に伴う引張亀裂による陥没であることが推定される。これらは写真からも明らかのように、いずれも引張を暗示するように垂直の亀裂が出現しているが、D地点では写真-19に示すように垂直の亀裂ではなく、せん断すべりのような形状を示している。これは鉄塔の基礎が北～北西方向への移動に抵抗したため垂直な亀裂が出現しなかったか、あるいは道路が盛土されていたため引張に対する抵抗が大きかったためか、更なる検討を要する。

4. 山腹斜面崩壊

2.の中で示した図-2の右図には航空写真判読による崩壊地が青点で示されている。これによると、立野付近から河陽地区を経て京大火山観測所付近までに崩壊が多く出現し、それ以外では北側の外輪山のカルデラ壁で崩壊が多発していることがわかる。内陸型活断層の崩壊事例としては、1995年の阪神・淡路大震災による六甲山系での事例がある。六甲断層系は南西から北東方向に伸びる逆断層型の右横ずれの断層である。1995年の地震震源は、六甲活断層系の南西に

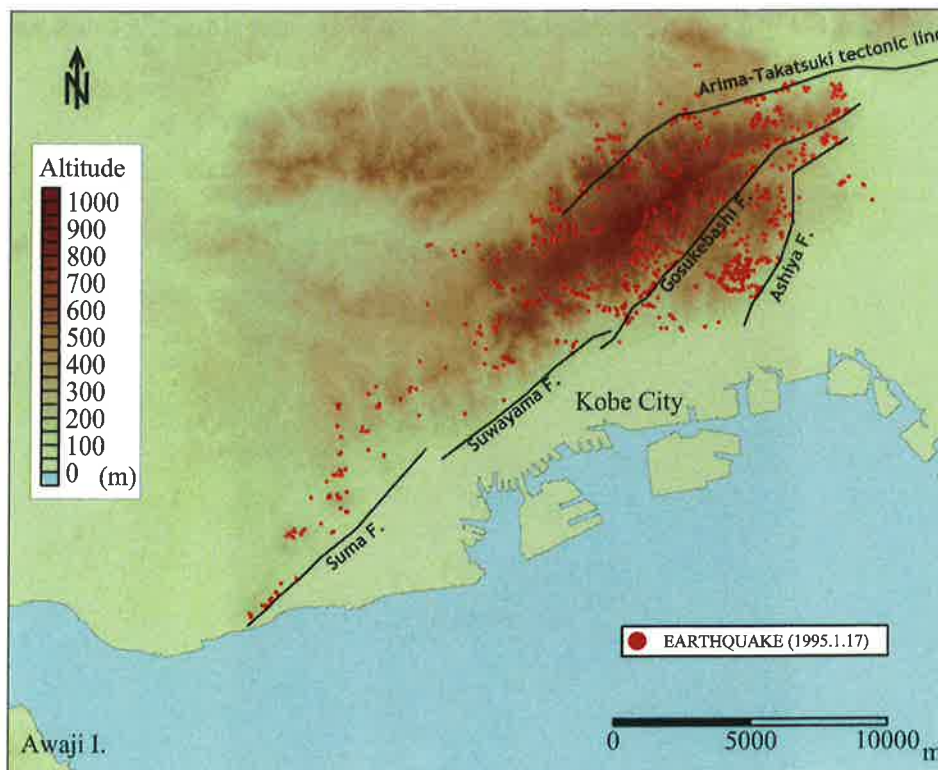


図-8 阪神・淡路大震災時の六甲山系の崩壊分布¹⁵⁾

位置し、破壊は六甲断層系に沿って北東方向に進展したといわれている。筆者の一人は、この時の六甲山系の崩壊は東六甲で数多く発生している（図-8 参照）ことを指摘し、地震波動エネルギーがこの付近で増幅した可能性を指摘した¹⁵⁾が、図-2 右図の崩壊分布の結果は、今回の熊本地震の布田川断層帯でも同じ現象が起きたことが推察された。

以上は広域的な崩壊分布に関する考察であるが、以下では、個々の崩壊に関して考察を進める。

今回の熊本地震による山腹崩壊の特徴は、既に檜垣ら¹⁶⁾が紹介しているように、京大火山観測所付近で見られるような地すべり型の山腹崩壊と、阿蘇大橋近傍の大規模崩壊に代表されるような表層崩壊型の山腹崩壊の2種類が出現したようである。過去の前者の崩壊事例としては、2008年の岩手・宮城内陸地震の際の荒砥沢地すべりの例が、後者の事例としては1984年の長野県西部地震の御嶽山からの土石流がある。京大火山観測所の地すべりに関しては、既に数多くの調査が行われ¹⁷⁾、火山地域に特有の降下火山灰堆積物の崩壊であることが指摘されている。降下火山灰堆積物は、降り積もった堆積物であるため傾斜は一般に緩く、密度が小さいこと、このためせん断抵抗は小さいことが想定される。また火砕流堆積物や軽石堆積物に比して、細粒分が多いことも想像される。このような境界条件下で地下水が多ければ、傾斜が緩いため降下火山灰堆積物は地すべり的な変状を起こすことが想定される。今回の踏査では、京大火山観測所までは行けなかったが、この観測所の東南に位置するペンション村の斜面崩壊を道路（県道299号線）から観察することが出来た。この崩壊地の状況を写真-20に示す。ペンションの建物の基礎の一部が露頭しているが、崩壊した土砂は地すべりのように崩壊地内に残存している。筆者の一人は地震直後の当該地の踏査を行ったが、それから約2か月後の今回の踏査では6月豪雨によると思われる大きな変状が出現していることを確認した。これも地すべり的な変状の特徴である。この地すべり変状により県道299号が不通になったため、写真-21に見られるように市道の一部を使った仮設道路が建設されていた。写真中央から右側は補強土擁壁が施工されている市道であるが、路面が陥没して大型ブロックが傾倒する変形がみられた。



写真-20 ペンション村の被災



写真-21 ペンション村近くの道路被災

写真-22はカルデラ内の南阿蘇村下野地区から見た阿蘇外輪山北西部カルデラ壁の崩壊を、写真-23は南阿蘇村河陽地区から見た阿蘇大橋近傍の大規模崩壊と外輪山カルデラ壁の崩壊の様子を示す。カルデラ壁での崩壊は表層崩壊型を示し、九合目付近から崩壊が発生して土石流のようになって流下していることがわかる。この九合目崩壊は、地震時の表層崩壊の特徴で、ちょうど頂部斜面と谷壁斜面の境界である遷急線直下から崩壊が発生し、谷壁斜面を流下することが多い。しかし写真-22に見られるように、これらの表層崩壊は、地震時に発生したものか、あるいは地震後の6月下旬の降雨により出現したものかは不明である。1995年1月の阪神・淡路大震災時の六甲山系では、5月と7月に降雨があり、多くの表層崩壊が発生したが、その分布は六甲山系全域に及び、崩壊発生場所は地震時の崩壊拡大型ではなく、地震時に崩壊が出現しなかった場所で新たに発生したことが既に明らかになっている¹⁸⁾。このため、これらの写真に見られる崩壊の一部は地震後に出現した崩壊も含まれていると思われるが、遠方からでは識別が困難であった。今後の調査に期待する。



写真-22 阿蘇外輪山北側のカルデラ壁



写真-23 大規模崩壊とカルデラ壁崩壊

写真-24 本震直後(4月16日)の阿蘇大橋周辺の大規模崩壊¹⁹⁾

写真-24は国土地理院により本震発生当日に撮影された阿蘇大橋崩落に関連した大規模崩壊の斜め写真である¹⁹⁾。崩壊は幅約200m、長さ約700m、崩壊土量は約50万 m^3 といわれている²⁰⁾大規模な崩壊である。この写真によれば、崩壊上部と右岸では黄褐色の地山がみられるが、それ以外は黒ボクが見られる。この崩壊地が発生した斜面は、地表植生に覆われているが、右岸の滑落崖の観察より明らかなように上半部では植生のある表土層下部には厚さおよそ3~5m程度の黒ボクが存在している。一方、下半部では厚い黒ボクは表土層として分布している。このことは、1)斜面上部1/3の部分が黒ボクを載せたまま地山との境界部ですべり、斜面下部の黒ボクを削剥したか、あるいは2)斜面下部の黒ボク内ですべりが出現し斜面上部を巻き込んだ崩壊だったかのいずれかが考えられる。崩壊斜面下半部では馬蹄形の滑落崖が見られるが、これは二次崩壊の可能性が大きい。二次崩壊場所での黒ボクの厚さは、すぐ地山の色が見えているため右岸滑落崖のそれに比べると薄く、ここでは黒ボクの表面部が2)の原因により崩壊したか、あるいは1)の

原因により削剥されたかのいずれかであろう。崩壊上部は右岸の滑落崖を見ると黒ボクがほとんど観察されず、地山のすべり面が現れていることより、ここでは地山と表土層の境界がすべり面となっていたことが推察される。これらの黒ボクは筆者らが踏査した7月ではすべて削剥され、写真-25に示すようにすべて地山の黄褐色になっており、約2か月間で大きな削剥が、余震および降雨による起きたと思われる、火山降下堆積物が削剥や浸食されやすいものと思われた。



写真-25 踏査時（7月5日）の阿蘇大橋周辺の大規模崩壊

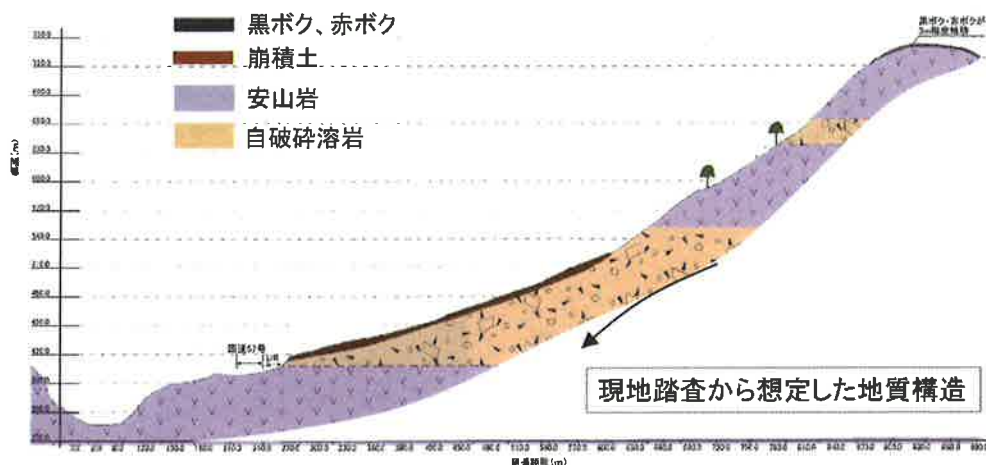
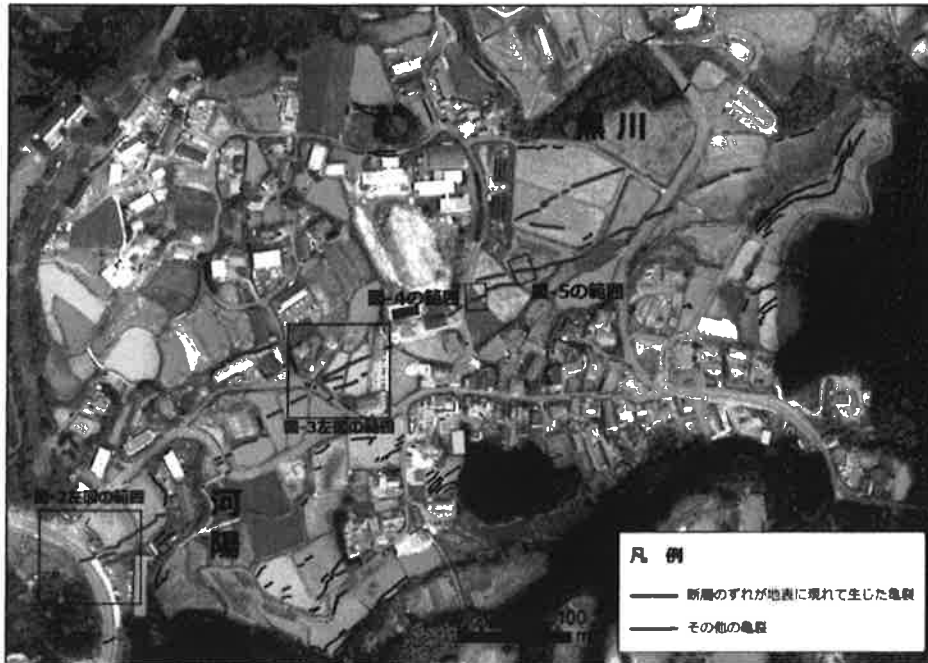


図-9 阿蘇大橋周辺の大規模崩壊想定断面図²⁰⁾

図-9は九州地方整備局から出された当該斜面の地質構造と縦断面図である²⁰⁾。この図からもほぼ中間部に安山岩が分布し、ここでは遷急点となっている。この遷急点から上部が1)の崩壊、下部が2)で考えられた崩壊に相当する。今後は、現地調査や土質試験等を通して、力学的な解明が望まれる。

5. 活断層による変形

図-10 国土地理院 空中写真判読による地表変位分布図²¹⁾

阿蘇大橋が架かる黒川左岸の河陽地区は、段丘状の地形を呈し、この平地を利用して学生用のアパートが数多く建設されていた。ここは布田川活断層の東端に位置し、今回の地震により活断層による変位が地表に出現し（図-10²¹⁾）、多くのアパートが被災を受けた。図-10の黒川地区では北東～南西方向の布田川断層帯とは別に、ほぼ東西方向の断層亀裂が出現しているが、これはリーデルせん断面の一種と思われる。

写真-26は断層による地表変位の一例である。ここでは約50cm程度の右横ずれ変位が、畝や畑を横切っていることがわかる。写真-27は同じく河陽地区内の道路で見られた右横ずれの変位状況である。ここでも40～50cmの変位が出現していた。



写真-26 河陽地区に出現した断層変位



写真-27 道路に出現した断層変位

益城町堂園地区でも大きな変位が出現していた。写真-28は堂園地区における地震後の右横ずれの変位状況である。ここでの横ずれはほぼ一直線上に出現している。地震発生後2.5か月を経過すると農耕地では耕作による改変が、また雑草が生えてきたため不明の場所が多かったが、踏査時には堂園地区では京都大学防災研究所によるトレンチ調査が行

われており、その隣に変位量を示すポールが設置してあった。その状況を写真-29 に示す。これによるとここでの水平変位量は約 2m であった。この水平変位を示す写真から明らかなように、この変位はいずれも水平変位が卓越しており、カルデラ内の陥没のように鉛直方向の変位は殆ど出現していなかった。このためか、家屋の被害は大きくなく、写真-30 に見られるように水平変位が大きく出ているすぐそばの家屋でも大きな被害は見られず、わずかに屋根瓦の被害であった。しかし、広い空間を必要とする作業場や倉庫の建物では、写真-31 に見られるような倒壊が発生していた。



写真-28 地震後の断層変位 (5/26)



写真-29 踏査時に見られた断層変位



写真-30 建物と断層変位



写真-31 断層変位近傍の倉庫の被災

まとめとしては、1)多くの断層変位は布田川断層帯に沿って出現していた、2)最大変位約 2m の右横ずれ水平変位が出現していたが、鉛直変位量はほとんど見られなかった、3)このため活断層変位に起因する建物被害は多くなかった、4)また南阿蘇村河陽地区や益城町三津地区ではリーデルせん断が出現していた、5)建物被害は断層変位による事例は少なく、後述する強震動に由来する被災が多かったが、その範囲は活断層から 5 km 以内のように思えた。

6. 益城町における建築構造物被害

益城町は熊本市の東に隣接する町で、南側は沖積低地、北側は段丘状の地形で、段丘崖は小さく、沖積低地とはほとんど緩やかな傾斜地で接している。市街地はこの傾斜地上に展開している。図-11 に益城町付近の地質図を示す (1/10 万 熊本県地質図²²⁾)。この図には市街地を四角形で示した。

この地質図によると、段丘状の地形の地質は最も新しいといわれる¹⁴⁾8~7万年前の阿蘇火砕流砕屑物である。市街地が展開している傾斜地の地質は段丘堆積物とされ、低地は沖積地である。この地質条件から、傾斜地に市街地が展開した理由は、火山と洪水による災害を防ぐためであったことが推定される。加えて、ここでは降下火山堆積物は見られず、地盤的には沖積地を除けば良好であったと推定される。

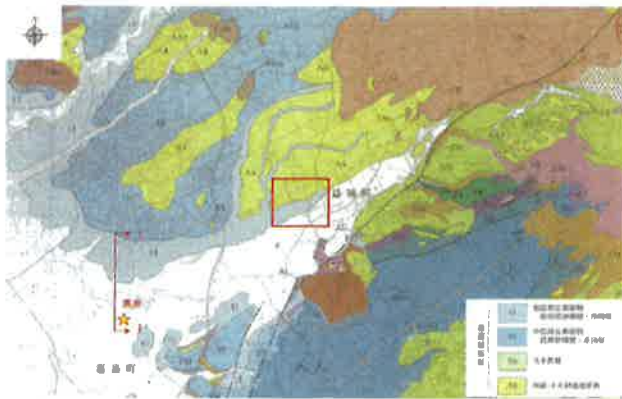


図-11 益城町付近の地質図²²⁾



写真-32 斜め写真と地質の関係²³⁾

写真-32は熊本大学鳥井特任准教授の作成による益城町中心部の斜め空中写真に地質の関係を示したものである²³⁾。この写真からも、火砕流台地地形や段丘堆積物による傾斜地、沖積地が理解できる。火砕流台地地形で比較的新しい町が形成されたのは、益城町による区画整理事業がすすめられたこと、熊本空港の開港が大きな動機になったと思われる。また、沖積地に隣接する地域で新興住宅地が展開している理由としては、益城町土地利用計画や、秋津川の河川改修工事の進捗が影響して洪水被災の恐れが少なくなり、近年になって新しい住宅が建設され始めたものと思われるが、詳しくは更なる調査が必要である。一方、段丘堆積物よりなる地域では、段丘であるため地下水の利活用が容易であったことが推定され、このために古くから集落が発達したものと思われた。

この写真-32には奥の東方向に布田川断層帯が記され、この断層帯は途中から破線になっている。この破線は傾斜地の段丘堆積物の中に推定されている。益城町では4月14日にMj6.5の地震が南東の日奈久断層帯で、4月16日にはMj7.3の本震が布田川断層帯の西への延長線上で出現している。いずれも観測震度は最大クラスの7であった。このため、今回の地震では強震動が卓越し、一度目の地震でせん断剛性が低下したところに、二度目の本震が襲ったため、建物は大きな変形を示し、多くの古い建物が倒壊したものと推定された。

本調査は、写真-32の新興住宅地域を「下段」、傾斜地である旧市街地域を「中段」、火砕流台地に相当する地域を「上段」と称して宮園地区の踏査を行った。写真-33は下段地域の状況である。南から北に向かって撮影した。道路の両側で建物の被災は認められなかった。道路の途中で遷緩点があり、そこから傾斜が少し急になって、中段に入った。写真-34、35は中段の状況である。全壊した建物が多く、7月初旬の踏査時点でも、瓦礫の処理は進んでいなかった。写真-35には新築の家屋が健全のように見えるが、一階は完全に倒壊していた。旧市街地には、東西に県道28号線が走っているが、この県道沿いの建物にも被災がみられた(写真-36)。更に上段に進むと、写真-37に見られるように、建物は新しくなっているがすべての建物で被災がないとは限らず、ところどころで被災した建物も見られた。

本踏査では、今回の地震により大規模宅地盛土の滑动変状被災があるかどうかをも確認することを目的としていたが、益城町では3,000m²以上の大規模宅地盛土は見当たらず、この目的を果たすことはできなかった。しかし、局所的に造成をした場所では、写真-38に見られるようにブロック積擁壁が被災を受けていた。



写真-33 下段の状況



写真-34 中段の状況① (手前左はお堂)



写真-35 中段の状況②



写真-36 左右の道路は県道 28 号線



写真-37 上段の状況



写真-38 ブロック積擁壁の被災(益城町)

まとめとしては 1) 東西方向に広がる益城町の旧市街地を横断する南北方向の踏査をすると、下方から下段、中段、上段と区分でき、これらは地質条件を反映していることが明らかになった、2) 下段は新しい家が多かったが一階が全壊している場合もあった、3) 中段は県道 28 号周辺に古い家屋が多く、全壊している事例があった、4) 上段は新しい家屋が多いが、下段と同様に一階の被災が見られる場合が多かった、5) 家屋の被災は 2 回もの震度 7 を受けたためか、強振動によるものと思われる場合が多く、宅地の滑動変状は見られなかった。

この原稿執筆中の 9 月中旬、益城町を対象とした国土交通省の建物倒壊原因の調査結果が報道²⁴⁾された。それによる

と1981年6月以前の旧耐震基準で建てられた770棟のうち、27.9%に相当する215棟が倒壊した。一方、新耐震基準では1,185棟が建てられたが、6.7%の82棟が倒壊していた。この82棟の倒壊原因では、2000年6月に柱と基礎の接合部の強化規程が定められたが、これ以前に建てられたものが75棟であったこと、残り8棟の倒壊原因としては接合法が不適切であったものが3棟、宅地の変状に起因するものが1棟、残り3棟は原因不明であった。この結果より、今回の被災では新耐震基準でかつ柱と基礎の接合部の補強が木造建物の地震時安全確保では必要であることが明らかにされたようである。

7. 熊本市南区における液状化



図-12 液状化出現場所分布図

益城町から西へ約12km離れた、熊本市南区では地震による液状化により家屋が傾く被害が発生していた(図-12参照)。ここでは白川が南流から西流へ変わるわん曲部に位置し、また白川から南約4kmでは、加勢川が東から西へと流下している場所であった。この低地は全体的にみると東から西の有明海へと低地が広がっているため、自然堤防もまた東西方向の分布を示し、液状化も東西方向の傾向を示すものと思っていたが、現実には、白川左岸の蓮台寺橋付近から加勢川右岸の南高江地区まで、南北方向に液状化被害は出現していた。



写真-39 液状化による駐車場の沈下(近見一丁目)



写真-40 液状化による建物の傾倒(刈草一丁目)



写真-41 電柱の傾き (刈草一丁目)



写真-42 液状化によるRC建築物の沈下 (刈草一丁目)

被災の様子を写真-39～写真-42に示す。写真-39は杭で支持された建物に比して、周りの地盤が液状化により沈下したために玄関には臨時にスロープが設置されていた。写真-40は左側の建物が杭支持でなかったため右側に傾倒している。右側の建物は、上載荷重が小さかったため沈下が起きなかったものと思われた。写真-41は電柱が液状化により傾いていると思われた。写真-42は杭支持のなかった建物が沈下している様子である。

この原因を探るために、国土地理院により発行されているこの地域の地形分類を示す「治水地形分類図」を検索した²⁵⁾。その結果を、図-13に示す。

この図より、白川左岸の近見一丁目付近から加勢川右岸の南高江地区までは、砂の微高地が南北に連なっていることがわかる。これは凡例にもあるように自然堤防と解釈できる。この自然堤防の東側では氾濫原が広がるが氾濫原の中にも南北方向の自然堤防や旧河道が存在し、氾濫原の北側には砂礫交じりの扇状地堆積地が分布していることがわかる。これよりこの地域一帯は白川が白川橋付近で大きく南に流向を変えるため、左岸側は流速が低くなり堆積部となるため、通水断面積が縮小される。写真-46は白川橋付近の様子である。特に白川は阿蘇山を源流とするため火山降下堆積物が浸食・運搬されやすく、現在でも写真-47に示すように浚渫が進められていた。このような背景によりわん曲部では特に洪水が発生しやすかったものと思われる。このため洪水時にはわん局部が氾濫常襲地点となり、氾濫した洪水は南下して加勢川のほうへ流下したために、南北方向の自然堤防が形成され、また南北方向の旧河道が残ったものと思われる。特に、近見一丁目付近で流向が南から西へ大きく変わるため、ここでは氾濫が起きやすく、その結果として近見一丁目から川尻地区まで一連の自然堤防が形成されたものと推定された。

氾濫原に出現する自然堤防は微高地であるため、洪水を避けるため集落が発生するが、ここでは東側の後背湿地まで市街地が拡大している。このような場所では異常な豪雨時には家屋の浸水が懸念される。また後背湿地では排水条件が悪くなり、高い地下水が存在する。この地下水が自然堤防を構成する砂の中に浸透することにより、自然堤防でも高い地下水が存在していた可能性があり、このため自然堤防で液状化が発生し建物が被害を受けたものと推定された。

このように低地では現在の地形の解釈のみならず、その地形が形成された過程を理解し、自然堤防や旧河道、人工地形改変地を知ることにより、洪水による浸水被災のみならず地震時における液状化被災もあわせて想定する必要がある。

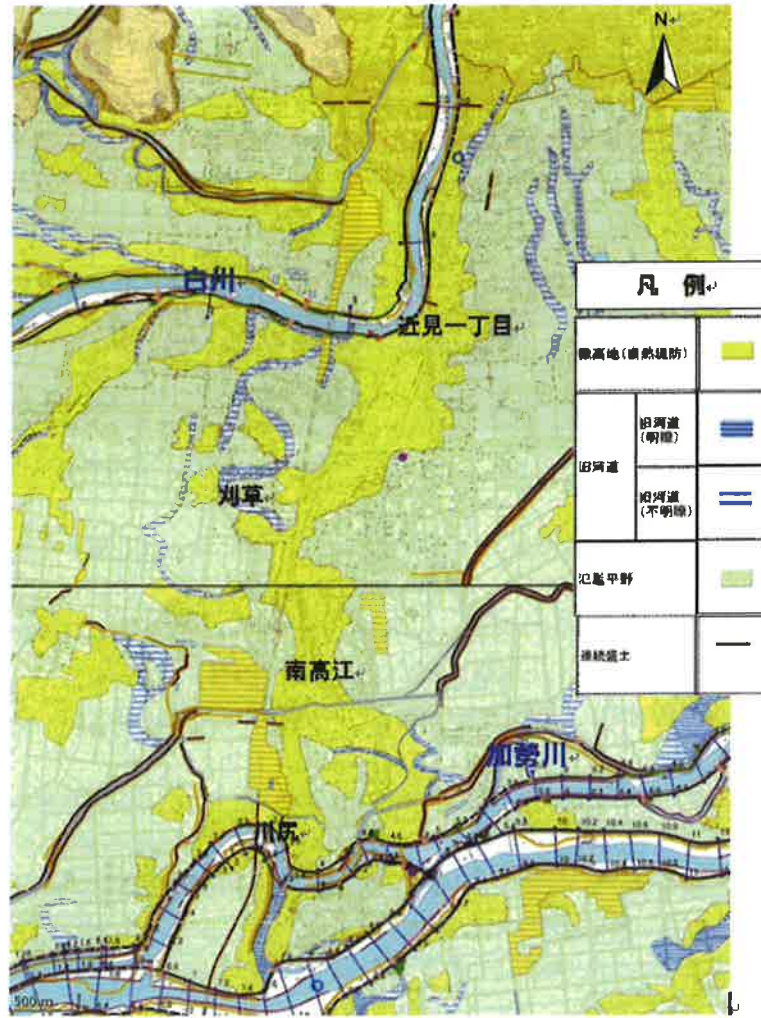


図-13 「治水地形分類図(熊本)」²⁵⁾より一部加筆



写真-46 左に大きくわん曲する白川の左岸側の瀬



写真-47 白川橋付近で行われていた浚渫作業

8. 踏査結果のまとめ

- 1) 震度7の大地震が28時間に2度も発生したこと、また、震度3以上の余震は8月10日まで400回も発生したこと。これにより、以下に述べる災害が発生した。

- ・家屋のせん断剛性が低下し、強震動による全壊が多発したこと
- ・地盤のせん断剛性も低下し、大規模崩壊や地すべり性崩壊など土砂災害が多発したこと
- ・活断層に沿った断層変形が多発したこと
- ・阿蘇カルデラ盆地の農地では陥没変形が多発したこと
- ・熊本市内の低地では液状化による家屋の被災が多発したこと

2) 被害を大きくした発生地域の地盤的な背景があったこと、具体的には以下に述べる事象が考えられた。

- ・巨大なカルデラ盆地があり、沖積平地や外輪山を構成するカルデラ壁があったこと
- ・火山灰等の火山噴出物が山地や丘陵地に厚く堆積していたこと
- ・河川への土砂流出が激しく、洪水氾濫原が展開していたこと
- ・段丘状の地形では火山や洪水から逃れる場所として、また地下水を活用するため集落が集中していたこと
- ・沖積低地では洪水被害から逃れるため、自然堤防の利活用があったこと

以上のまとめは短期間の踏査によるものであり、今後、調査、試験、解析等を通して、さらに詳しく検討が進められることを期待する。

なお、検討に際しては、兵庫県広域防災センター田中健一氏から多くの示唆を頂いた。ここに感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 消防庁災害対策本部HP：熊本県熊本地方を震源とする地震(第36報)、平成28年4月24日7時40分発表
- 2) 宇根寛：活断層について、日本学術会議防災学術連携体、熊本地震緊急報告会、2016, 5, 2
- 3) 気象庁HP：平成28年(2016年)熊本地震の関連情報、最大震度別地震回数表、平成28年8月10日07時現在
- 4) 消防庁災害対策本部HP：熊本県熊本地方を震源とする地震(第70報)、平成28年8月3日9時30分発表
- 5) 消防庁HP：平成16年(2004年)新潟県中越地震確定報、平成21年10月21日
- 6) <http://www.asahi.com/>
- 7) 内閣府編：防災白書、平成14年版、65ページ、2002
- 8) 気象庁HP：平成28年(2016年)熊本地震の関連情報、震央分布図、8月23日12:30現在
- 9) 国土地理院HP：「電子基準点による地殻変動(水平)」情報の修正(4月21日18:00)
- 10) 国土地理院HP：平成28年4月16日の熊本県熊本地方の地震(M7.3)前後の地殻水平変動
- 11) 国土地理院HP：合成開口レーダのMAI解析結果
- 12) 地学団体研究会：地学辞典、平凡社、271、1996
- 13) 産業技術総合研究所・地質調査総合センターHP：阿蘇火山地質図まえがき
- 14) 日本応用地質学会2016年熊本・大分地震災害調査団陥没性亀裂調査班：阿蘇カルデラ内に出現した陥没性断層とその周辺の地形変位、調査報告速報版その1、2016
- 15) 沖村孝・鳥居宣之・伊井政司：兵庫県南部地震による山腹斜面崩壊の実態、神戸大学土地造成工学研究施設報告、13、147-167、1995
- 16) 檜垣大助・林一成：阿蘇山における地震で発生した斜面崩壊の傾斜と起伏量から見た特徴、日本地すべり学会災害調査報告HP、2016
- 17) 砂防学会：平成28年度熊本地震に係わる土砂災害第一次緊急調査団報告、日本学術会議主催公開シンポジウム熊本地震緊急報告会、2016.5.2
- 18) 沖村孝・鳥居宣之・永井久徳：地震後の降雨により発生した斜面崩壊メカニズムの一考察、建設工学研究所論文報告集、40-B、97-114、1998
- 19) 国土地理院HP：平成28年(2016年)熊本地震。

- 20) 九州地方整備局HP：阿蘇大橋地区復旧技術検討会、2016
- 21) 国土地理院HP：空中写真判読による地表変位分布図
- 22) 熊本県：1/10万 熊本県地質図
- 23) 鳥井真之：土木学会西部支部「2016年熊本地震」地震被害調査報告会、2016
- 24) 日本経済新聞：2016年9月13日
- 25) 国土地理院HP：治水地形分類図

著 者

沖村 孝 所員 理学博士 地盤工学
荒木 繁幸 株式会社ダイヤコンサルタント 顧問 博士(工学) 地盤工学
高橋 浩一 株式会社ダイヤコンサルタント九州支社、技術士(応用理学) 地質学