

2016年熊本地震 被害調査報告



目次

はじめに	1
災害リスク研究センター：田中	
1. 地震・地震動	2
災害リスク研究センター：末富・福島・尾茂	
2. 斜面の被害	12
災害リスク研究センター：藤原・種平・北村	
3. 平地の地盤被害	18
総合企画本部：磯山	
災害リスク研究センター：佐伯	
4. 道路構造物の被害	27
東京支社/防災保全部：美藤・押川・佐伯・眞野・片根	
関西支社/防災保全部：藤田	
中国支社/防災保全部：栗林・千野・坂部	
5. 河川構造物の被害	44
防災保全事業部：濱野	
関西支社/防災保全部：藤田・野谷	
中国支社/防災保全部：栗林・坂部	
6. 港湾・海岸施設の被害	46
関西支社/防災保全部：藤田	
中国支社/防災保全部：栗林・坂部	
7. 水道・水利施設の被害	48
防災保全事業部：濱野	
関西支社/防災保全部：藤田・野谷・藤本・仲村	
中国支社/防災保全部：黒田・永田・栗林・千野・坂部	
8. その他の構造物の被害（建物/神社・寺院/公園/鉄道）	59
災害リスク研究センター：末富・福島	
関西支社/防災保全部：藤田	
中国支社/防災保全部：栗林・坂部	
9. 都市の被害	67
九州支社/都市・環境・エネルギー室：白鳥・吉岡・石倉	
10. 阿蘇市・南阿蘇村の被害	74
総合企画本部：磯山	
災害リスク研究センター：田中・井上	

はじめに

災害リスク研究センター 田中努

2016年4月14日夜、熊本地方に大地震が発生した。この地震は、その後、最大震度7が2回、震度6弱以上が7回、余震発生頻度が過去最多クラスとなり、あちこちで地表地震断層も出現して、異例の地震となった。

この報告は、当社の耐震や防災を専門とする技術者が、延べ60人日余を掛けて、それぞれの担当分野の施設被害や避難の実態を、前震の直後から現地に入って調べたものである。目次から分かるように、対象は多種にわたり、様々な視点からの被害報告がまとめられている。

この報告が今後の防災対策の向上に、少しでも役立てば、大きな喜びである。

○熊本支店

当社の熊本支店の職員やその家族には、幸い大きな怪我はなかったが、頻発する強い余震のストレスは大きかった。市内では、なんとか生活と業務は継続できたが、支店の入居ビルは本震で被災し、応急危険度調査で「危険」の判定を受け、解体せざるを得なくなった。6月末に移転の予定である。

○専門技術者による現地調査

当社では、災害リスク研究センターと事業部の地震動・地盤/地下/橋梁等の耐震・都市防災の技術者(計12名)が、大学との共同調査も含め、16日の朝から調査を開始すべく福岡に移動し、深夜の本震を受けた。その後、大きな余震が落ち着いた連休前から、さらに斜面・上下水道・ダム等の技術者も加わり、計27名が現地調査を行った。



写真1 熊本支店の4/16朝の状況

○九州支社の災害査定・復旧支援

九州支社では、建設コンサルタンツ協会を通じて国交省や地方公共団体と災害協定を結んでおり、直後からの要請に応じた災害査定等の支援を行うと共に、全社の応援のもとに、被災地の復旧・復興に取り組んでいる。

○速報開示と社内報告会

当社の被害調査の速報は、社内とEJグループ内で、一部はホームページでも公開している。6月9日には現地調査全体の報告会を行った。



写真2 社内報告会(グループ全体で240名参加)

1. 地震・地震動

災害リスク研究センター 地震防災グループ：末富岩雄・福島康宏・尾茂淳平

1.1. 地震の概要

1.1.1 連続地震の発生

2016年4月14日21時26分頃、熊本県熊本地方の深さ11kmを震源とするマグニチュードM6.5の地震が発生し、最大震度7が熊本県益城町で観測された¹⁾。気象庁はこの地震を「平成28年(2016年)熊本地震」と命名した(第4報)¹⁾。

その後、2016年4月16日1時26分頃、熊本県熊本地方の深さ12kmを震源とするM7.3の地震が発生し、最大震度7が熊本県益城町と西原村で観測され、震度6強も多くの地点で観測された(第7報、第22報)¹⁾。一連の地震活動の中で最大震度7が2回観測された事例は初めてである。気象庁では、4月16日のM7.3の地震が本震で、4月14日のM6.5の地震は前震であったとの見解を示した。

4月14日21時から5月14日8時までに熊本県から大分県にかけて発生した深さ20km以浅の地震の震央分布を図1.1.1に示す。最大震度が6弱以上を観測した地震を表1.1.1に示す。

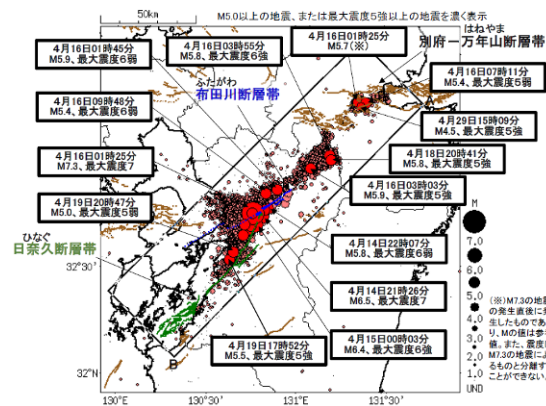


図 1.1.1 一連の地震の震央分布図
(気象庁：第37報¹⁾を引用)

表 1.1.1 最大震度6弱以上を観測した地震
(気象庁¹⁾を引用)

発生時刻	震央地名	M	最大震度
4月14日21時26分	熊本県熊本地方	6.5	7
4月14日22時07分	熊本県熊本地方	5.8	6弱
4月15日00時03分	熊本県熊本地方	6.4	6強
4月16日01時25分	熊本県熊本地方	7.3	7
4月16日01時45分	熊本県熊本地方	5.9	6弱
4月16日03時55分	熊本県熊本地方	5.8	6強
4月16日09時48分	熊本県熊本地方	5.4	6弱

なお、気象庁では、4月21日以降、「平成28年(2016年)熊本地震」は4月14日21時26分以降に発生した熊本県を中心とする一連の地震活動を指すと説明しており(第23報)¹⁾、報道発表資料において前震、本震といった呼び方をしていないが、本報告書においては、わかりやすさのため、便宜的に4月14日のM6.5の地震を前震、4月16日のM7.3の地震を本震と呼ぶことがあることを断っておく。

1.1.2 震源過程

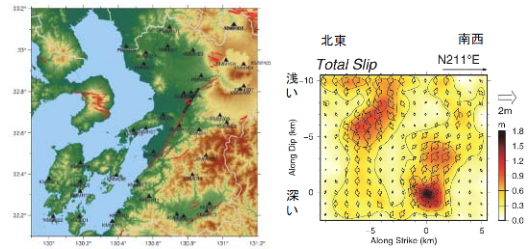
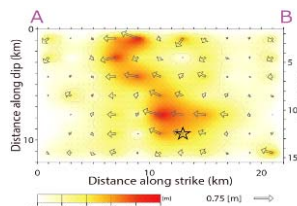
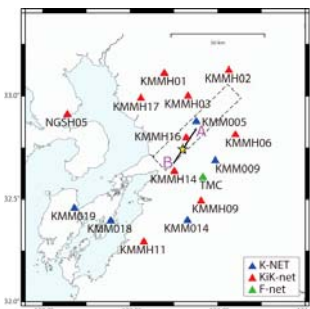
熊本地震については、各機関により震源モデルが示されている。ここでは、強震動データに基づく震源モデルの例として、国立研究開発法人防災科学技術研究所(以下、防災科研)のモデル²⁾³⁾と京都大学防災研究所(以下、京大防災研)のモデル⁴⁾⁵⁾を示す。

4月14日のM6.5の地震の断層面の位置と最終すべり分布を図1.1.2に示す。防災科研、京大防災研とも、破壊開始点(☆印)から北東側の浅いほうへ破壊が進展するモデルとなっており、破壊開始点と北東側の浅い部分にすべり量の大きな領域が見られる。モーメントマグニチュードは防災科研のモデルが

Mw6.1、京大防災研のモデルが Mw6.2 となっている。

4月16日のM7.3の地震の断層面の位置と最終すべり分布を図1.1.3に示す。防災科研では断層面1枚のモデルとしているのに対し、京大防災研では日奈久断層帯、布田川断層帯の走向に合わせた断層面2枚のモデルとなっている。両者とも、破壊開始点から北東側に

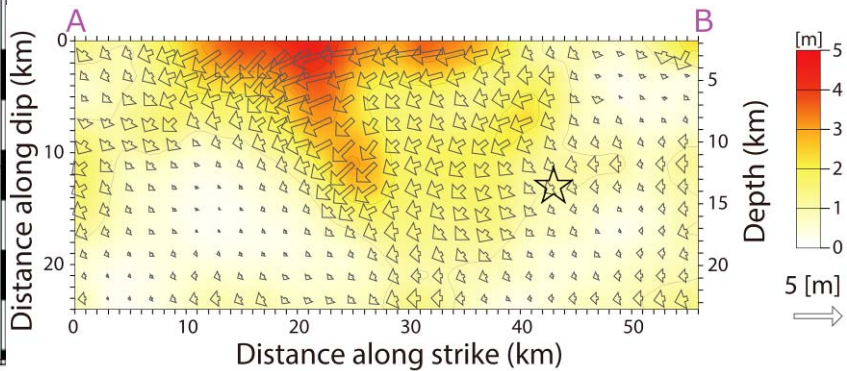
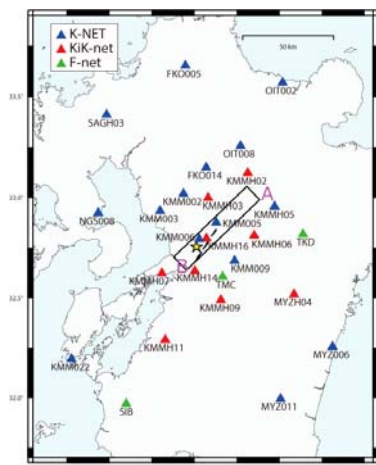
破壊が進展するモデルとなっており、破壊開始点より北東側の浅部ですべり量が大きくなっている傾向も共通しているが、京大防災研のモデルでは破壊開始点より北東側のやや深い位置でもすべり量が大きくなっている。モーメントマグニチュードは防災科研のモデルが Mw7.1、京大防災研のモデルが Mw 7.0 となっている。



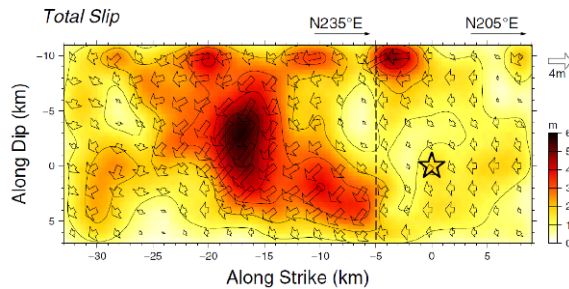
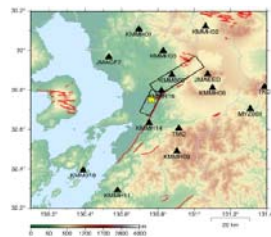
(1) 防災科学技術研究所(久保ほか, 2016) 7)

(2) 京都大学防災研究所(浅野, 2016) 9)

図 1.1.2 4月14日のM6.5の地震の震源モデル



(1) 防災科学技術研究所(久保ほか, 2016) 8)



(2) 京都大学防災研究所(浅野, 2016) 10)

図 1.1.3 4月16日のM7.3の地震の震源モデル

1.2. 布田川・日奈久断層帯

1.2.1 事前の活断層評価

地震調査研究推進本部（以下、地震本部）では、主要活断層帯の1つである布田川・日奈久断層帯の長期評価⁶⁾を行っており、各活動区間において地震発生の特性を予測している。図1.2.1に活断層分布、表1.2.1に各活動区間の諸元を示す。

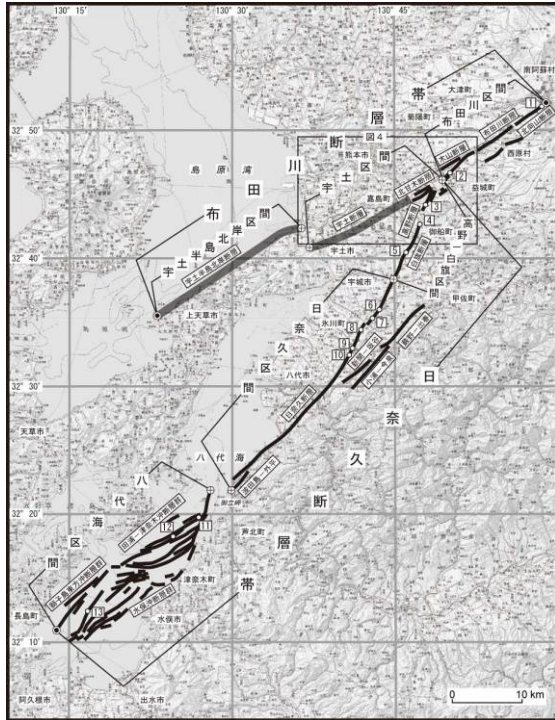


図 1.2.1 地震本部の長期評価

表 1.2.1 各活動区間の地震規模と発生確率

活動区間	断層長 Mj	発生確率 30年以内
布田川断層帯		
布田川区間	約 19km 7.0	ほぼ 0%—0.9%
宇土区間	約 20km 7.0	不明
宇土半島北岸区間	約 27km 以上 7.2 以上	不明
全体が同時活動	約 64km 以上 7.5—7.8 以上	不明
日奈久断層帯		
高野—白旗区間	約 16km 6.8	不明
日奈久区間	約 40km 7.5	ほぼ 0%—6%
八代海区間	約 30km 7.3 以上	ほぼ 0%—16%
全体が同時活動	約 81km 7.7—8.0 以上	不明
日奈久断層帯全体と 布田川断層帯布田川 区間が同時活動	- 7.8—8.2	不明

日奈久断層帯全体と布田川断層帯布田川区間が同時に活動する場合、地震規模が最大で Mj8.2 と想定されている。また発生確率（今後 30 年以内）では、日奈久断層帯（八代海区間）が最も高く、国内の主な活断層帯の中では発生確率が高いグループに属している。

なお、地震本部の平成 28 年熊本地震の評価⁷⁾では、

- 4月14日の M6.5 の地震
→日奈久断層帯の高野—白旗区間の活動
- 4月16日の M7.3 の地震
→布田川断層帯の布田川区間の活動
と考えられている。

また、新編日本の活断層⁸⁾や活断層詳細デジタルマップ⁹⁾、都市圏活断層図¹⁰⁾などの活断層図にも布田川・日奈久断層帯は示されている。特に国土地理院が発行する都市圏活断層図は、判読範囲が都市部に限られてはいるが、2万5千分1地形図を用いた判読が行われているため精度がよい。

図 1.2.2 に、日奈久断層帯（高野—白旗区間）の北部と布田川断層帯（布田川区間）の南部が示されている都市圏活断層図「熊本」を示す。1.2.2 項で示す現地調査は、主にこの活断層図を用いて行っている。なお、「熊本」以北の断層の延長部に関しては、都市圏活断層図の判読範囲外となっている。

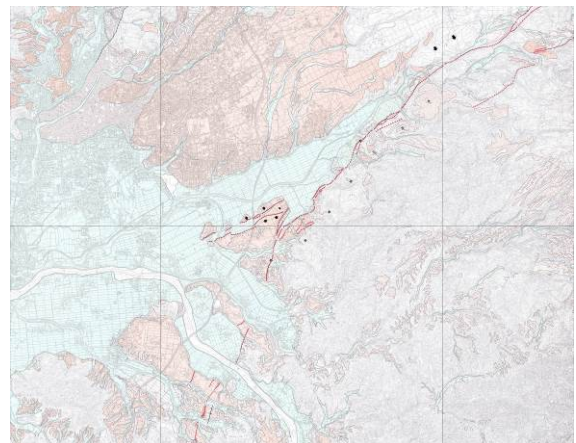


図 1.2.2 都市圏活断層図「熊本」

1.2.2 地表地震断層

地震本部によると、布田川断層帯（布田川区間）沿いなどで長さ約 28km、および日奈久断層帯（高野－白旗区間）沿いで長さ約 6km にわたって、地下の震源断層のずれに伴う地表の変位（以下、地表地震断層）が見つかっており、益城町堂園付近において最大約 2.2m の右横ずれ変位が生じている。

図 1.2.3 に、参考として国立研究開発法人産業技術総合研究所（以下、産総研）の調査¹¹⁾により判明した地表地震断層の分布図を示す。概ね、今までに報告されていた活断層にほぼ一致する場所に地表地震断層は出現しているが、布田川区間沿いにおいて、東端が従来認定されていた活断層の端点よりも約 4km 東側の阿蘇カルデラ内まで及んでおり、実際の地震断層の長さが事前評価よりも長いことが考えられる。

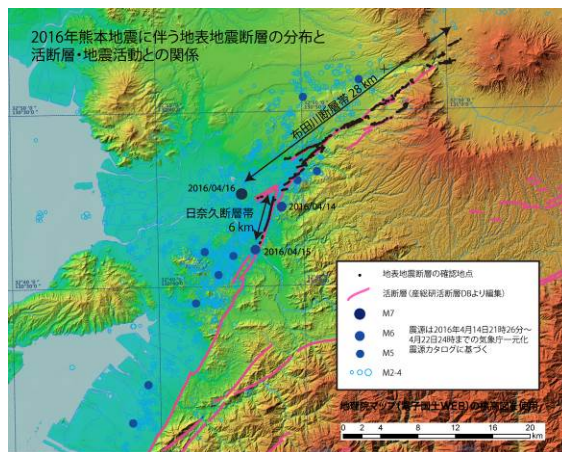


図 1.2.3 地表地震断層と活断層の関係

上記の先行調査を基に、当社の調査において確認した地表地震断層の位置を、国土地理院の地表の亀裂分布図¹²⁾と合わせて図 1.2.4 に示す。なお、地表の亀裂分布は、地表地震断層だけでなく、地盤の流動等に起因するものが含まれることに注意が必要である。

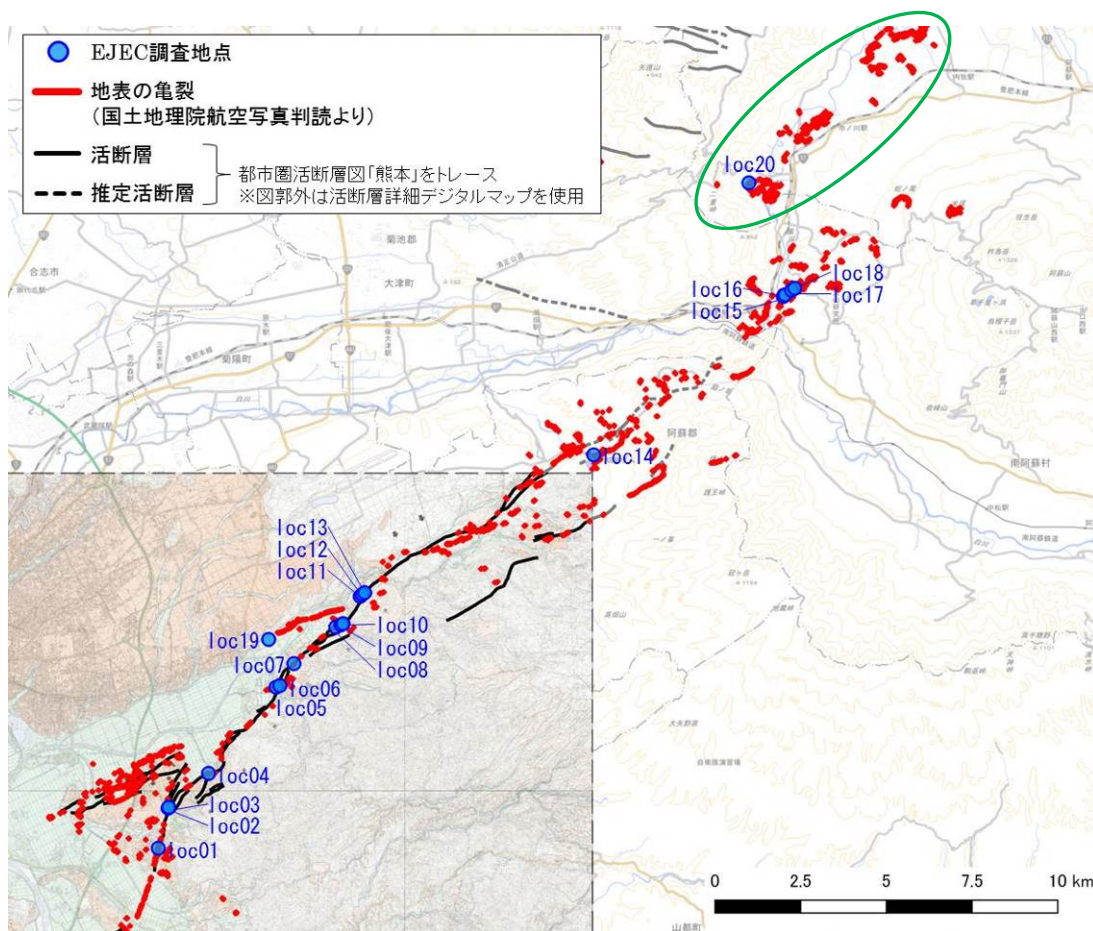


図 1.2.4 地表地震断層調査地点

以下に、図 1.2.4 の調査地点のうち 5 地点での断層の状況について記す。

(1) loc01 : 御船町土山付近

20~30cm の右横ずれ変位が見られた。この地点より北側延長線上 (写真左側) にあたる九州中央自動車道の盛土の法尻付近では、横ずれの変位によりフェンスの一部が変形していた。



写真 1.2.1 loc01

(2) loc12 : 益城町堂園付近

約 2.2m の最大変位量が認められた地点である。右横ずれの断層運動により、畦に食い違いが生じており、耕作地の中に地表地震断層が連続している。



写真 1.2.2 loc12

(3) loc14 : 大切畑ダム

ダムの堤体より右岸側の道路上に、地表地震断層が出現した。路面のアスファルトやガードレールに、右横ずれに伴う変状 (水平短縮) がみられる。



写真 1.2.3 loc14

(4) loc16 : 南阿蘇村河陽付近

1.0m 程度の右横ずれ、および 50cm 程度の縦ずれ変位が見られた。



写真 1.2.4 loc16

(5) loc19 : 益城町寺迫付近

右横ずれにより、道路白線の約 70cm の食い違いが見られた。この地点で見られた地表地震断層は、都市圏活断層図等の既存の活断層図で示された断層線とは異なる位置に出現した、分岐断層である (図 1.2.5)。



写真 1.2.5 loc19

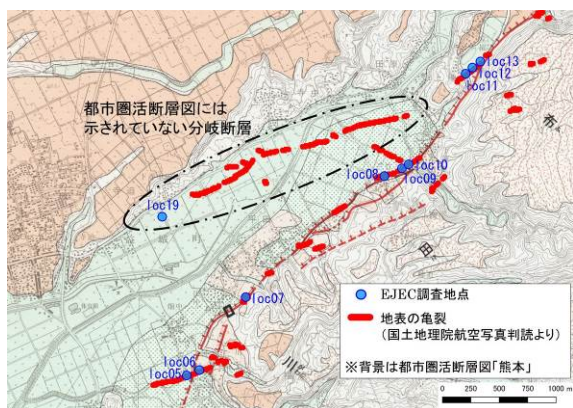


図 1.2.5 新たに見つかった分岐断層

図 1.2.3 と図 1.2.4 を比較すると、産総研の調査結果では地表地震断層が示されていない阿蘇カルデラ内北部の地域 (図 1.2.4 の○内) にも、地表の亀裂が分布している。loc20 (阿蘇市車帰付近) において撮影した写真 1.2.6 を見ると、帯状に開口亀裂が分布しているように見える。

これについては、この付近では余震分布がないことや、旧河道上の地盤の影響、褐鉄鉱床の掘削跡が陥没した等の指摘もあり、地表地震断層であるか否かについては、今後の調査で明らかになってくるものと考えられる。

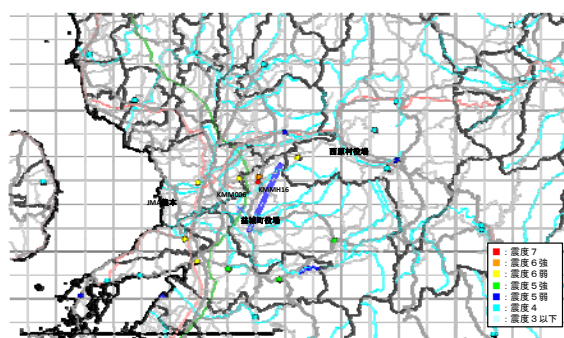


写真 1.2.6 loc20

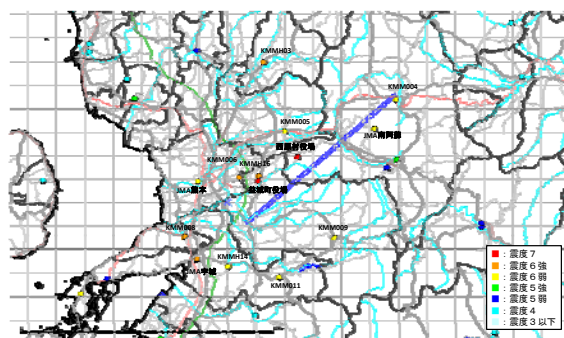
1.3. 地震動の特性

1.3.1 主要な強震記録

防災科研による K-NET、KiK-net¹³⁾、気象庁および自治体震度計の強震データ¹⁴⁾が公表されている。これらの波形データから算出した震度の分布を図 1.3.1 に示す。



(a) 4月14日の地震(M6.5)



(b) 4月16日の地震(M7.3)

図 1.3.1 観測震度分布

特に断層に近い KMMH16 (KiK-net 益城)、益城町役場、西原村役場での観測加速度波形を図 1.3.2~1.3.4 に示す。各観測点で 4月14日 (M6.5) と 4月16日 (M7.3) の比較を EW 成分で示している。益城町役場での加速度波形は、4月14日と 4月16日で大きな差はない。西原村役場は、4月14日の地震では断層から遠くなるので、4月16日より明らかに小さい。

4月16日 (M7.3) の地震での益城町役場、西原村役場での 3 成分の速度波形 (フーリエ積分により算定) を図 1.3.5~1.3.6 に示す。西原村役場では、EW 成分が 200cm/s を越えているのみならず、上下成分も約 100cm/s と大

きな値となっている。

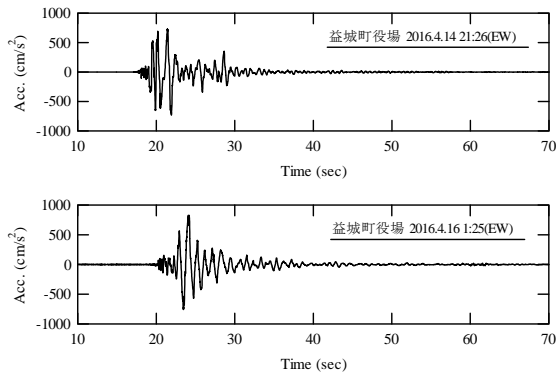


図 1.3.2 観測加速度波形
(益城町役場：4月16日 M7.3)

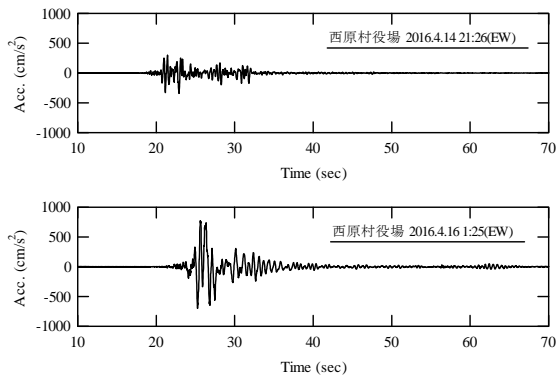


図 1.3.3 観測加速度波形
(西原村役場：4月16日 M7.3)

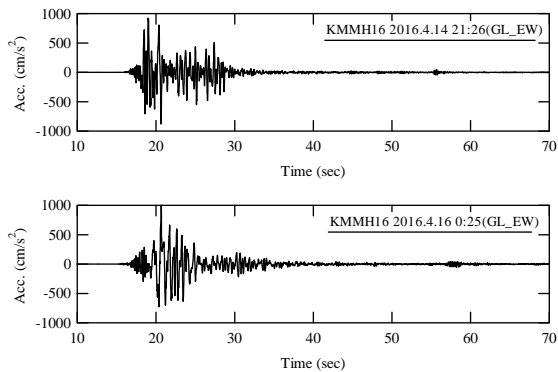


図 1.3.4 観測加速度波形
(KiK-net 益城：4月16日 M7.3)

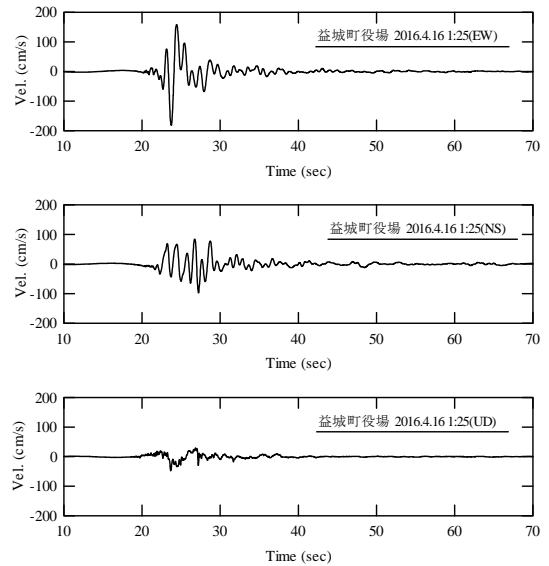


図 1.3.5 速度波形
(益城町役場：4月16日 M7.3)

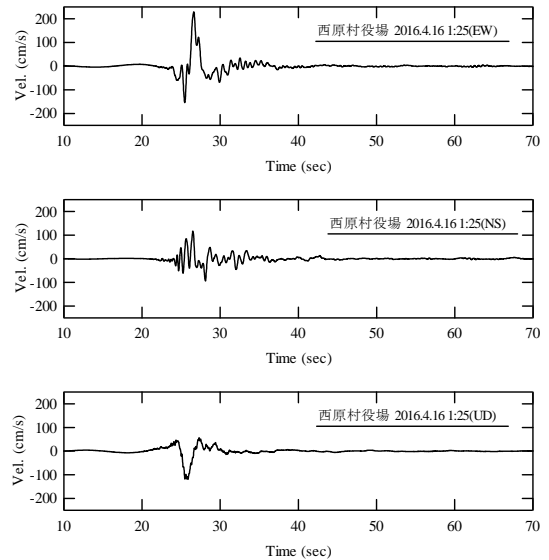


図 1.3.6 速度波形
(西原村役場：4月16日 M7.3)

上述の3観測点での加速度応答スペクトル(減衰5%)を図1.3.7に示す。逆転する周期帯はあるものの概ね4月16日の地震の方が大きく、卓越周期も長い。益城町役場では、2地震とも周期1秒付近が大きい。西原村役場の4月16日の地震では、周期2秒以上で他を大きく上回っている。

4月16日の地震について、既往の1995年兵庫県南部地震や2004年新潟県中越地震で

の強震観測記録との比較を図 1.3.8 に示す。益城町役場の卓越周期は、葺合供給所や川口町役場と同様に周期 1 秒強にあり、かつこれらを上回る大きな地震動である。西原村役場は、周期 0.5~0.8 秒で大きくなっているのみならず、周期 2 秒以上で既往観測波や道路橋示方書でのタイプ II (内陸直下型) の設計スペクトルを大きく上回っている。西原村役場については、図 1.3.6 に示したように上下動でも最大速度が極めて大きい。同様の特徴は、1999 年台湾集集地震の際に断層直近の観測点で見られた。また、実体波や表面波として長周期成分が大きいのであれば、他の観測点でも同様に長周期成分の卓越が見られるはずである。したがって、断層近傍の地殻変動(波形としては残留変位が生じる)によるものである可能性があり、今後検討を進めていく必要がある。

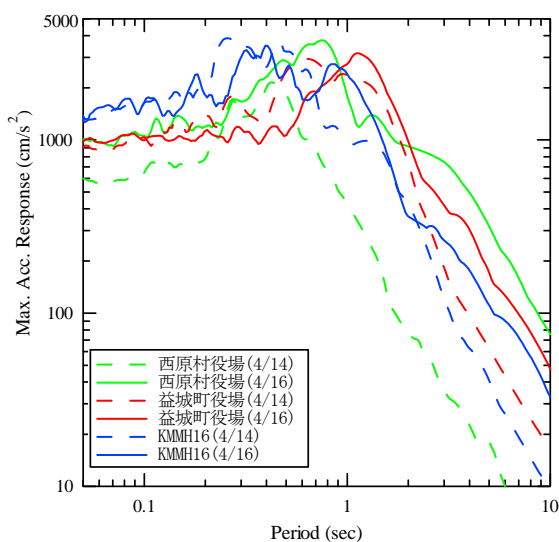


図 1.3.7 断層近傍観測点での加速度応答スペクトル (減衰 5%) の比較

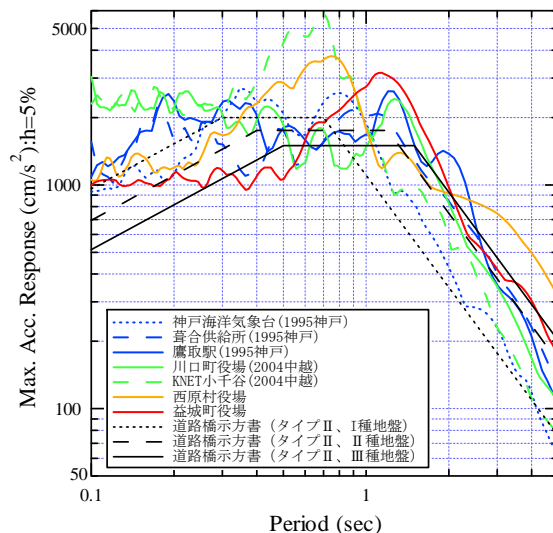


図 1.3.8 既往の強震観測記録との加速度応答スペクトル (減衰 5%) の比較

1.3.2 地震動分布

地震後に揺れが大きいエリアを把握するために、気象庁や防災科研により推計分布が公表されている。各種の施設被害と地震動の大きさの関係を検討するためには、地震動の精度が重要となるので、より高精度(データ数、断層の拡がり を考慮したクリッキング推定)の地震動分布推定を行う。また、SI 値や最大速度もしばしば用いられる地震動指標であるので、これらについても算定する。図 1.3.9 に 4 月 14 日の地震(M6.5)の震度分布、図 1.3.10 に、4 月 16 日の地震(M7.3)の震度分布を示す。手法の詳細や他の指標等については付属資料に示す。

4 月 16 日の地震では、強い揺れの範囲が広く、そのために各種の被害も広範囲に及んだことがわかる。

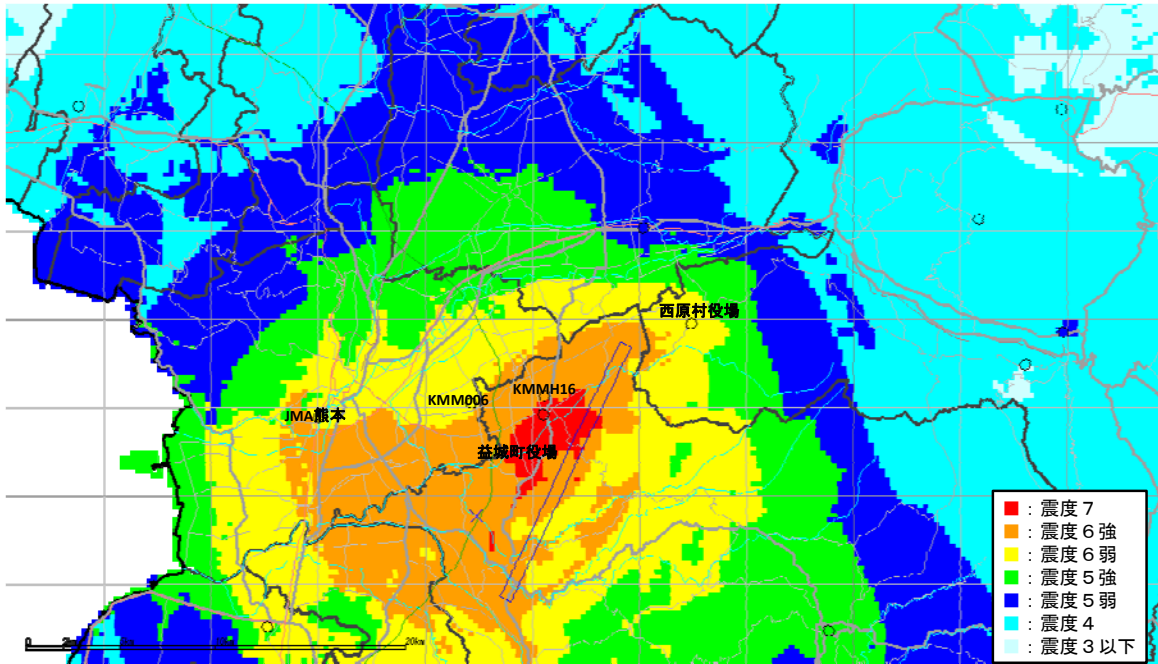


図 1.3.9 推定震度分布 (4月14日 M6.5)

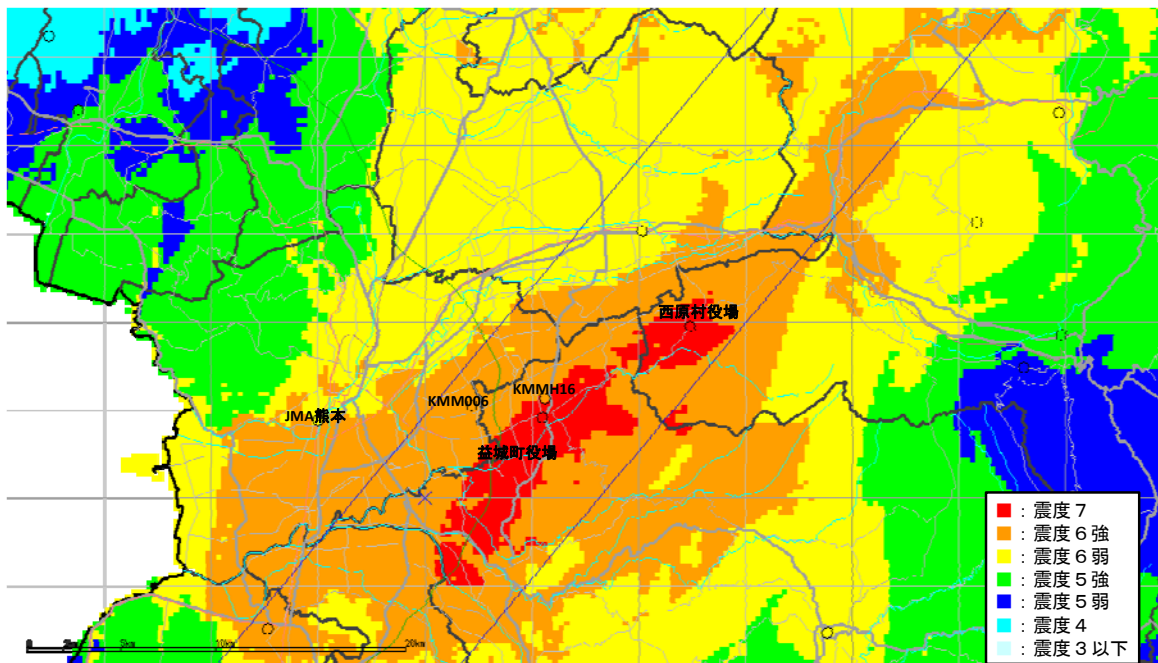


図 1.3.10 推定震度分布 (4月16日 M7.3)

参考文献

- 1) 気象庁: 平成 28 年 4 月 14 日 21 時 26 分頃の熊本県熊本地方の地震について, 報道発表資料, <http://www.jma.go.jp/jma/press/1604/>
- 2) 久保久彦, 鈴木亘, 青井真, 関口春子: 近地強震記録を用いた平成 28 年 (2016 年) 熊本地震 (4 月 14 日 21 時 26 分、M 6.5) の震源

- インバージョン解析 (2016/5/12 改訂版), 防災科学技術研究所強震観測網(K-NET, KiK-net)ウェブサイト, http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/Kumamoto_2016_0414/inversion/
- 3) 久保久彦, 鈴木亘, 青井真, 関口春子: 近地強震記録を用いた平成 28 年 (2016 年) 熊本

- 地震(4月16日1時25分、M7.3)の震源インバージョン解析(2016/5/12改訂版),防災科学技術研究所強震観測網(K-NET, KiK-net)ウェブサイト, http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/Kumamoto_20160416/inversion/
- 4)浅野公之(京都大学防災研究所 地震災害研究部門):平成28年(2016年)熊本地震の震源過程,地震調査委員会提出資料 2016年4月17日, http://sms.dpri.kyoto-u.ac.jp/k-asano/pdf/2016KumamotoEQ_v20160417.pdf
- 5)浅野公之(京都大学防災研究所 地震災害研究部門):「平成28年(2016年)熊本地震」の地震活動のうち本震(MJMA7.3)の震源過程(改訂版),地震調査委員会提出資料 2016年5月13日, http://sms.dpri.kyoto-u.ac.jp/k-asano/pdf/20160416KumamotoEQ_v20160513.pdf
- 6)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,2016年5月13日公表, http://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2016/2016_kumamoto_3.pdf
- 7)地震調査研究推進本部地震調査委員会:布田川断層帯・日奈久断層帯の評価(一部改訂),2013年2月1日公表, http://jishin.go.jp/main/chousa/katsudansou_pdf/93_futagawa_hinagu_2.pdf
- 8)活断層研究会:新編日本の活断層,1991
- 9)中田高・今泉俊文:活断層詳細デジタルマップ,2002
- 10)国土交通省国土地理院:都市圏活断層図 熊本,2001.12
- 11)産業技術総合研究所地質調査総合センター:「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, <https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/kumamoto2016/kumamoto20160513-1.html>
- 12)国土交通省国土地理院:平成28年熊本地震・空から見た(航空写真判読による)布田川断層帯周辺の地表の亀裂分布図,平成28年熊本地震に関する情報,2016年5月13日, <http://www.gsi.go.jp/common/000140539.pdf>
- 13)防災科学技術研究所:強震観測網 K-NET, KiK-net, <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>
- 14)気象庁:主な地震の強震観測データ, <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/jishin/index.html>

2. 斜面の被害

災害リスク研究センター 土砂防災グループ：藤原康正・種平一成・北村和輝

2.1. 斜面被害調査の概要

斜面被害の調査は、熊本県内の国道及び県道沿いの山側斜面で発生した落石・崩壊を対象に資料調査ならびに現地調査を行った。資料調査は、熊本県防災情報ホームページ¹⁾に掲載されている通行規制情報及び被災直後の空中写真²⁾をもとに、規制箇所、規制原因、規制開始・解除日時等について情報収集・整理を行った。

現地調査は、5/9～5/10時点で通行可能で斜面被害が比較的多数発生した阿蘇山西部の9路線について、被害箇所の地形・地質状況や崩壊規模等を路上からの目視により確認した。図2.1.1に本調査で確認した道路山側の斜面被害箇所の分布図を示し、図中に現地調査のルート(緑線)と震源断層を含む活断層の位置³⁾を併記した。

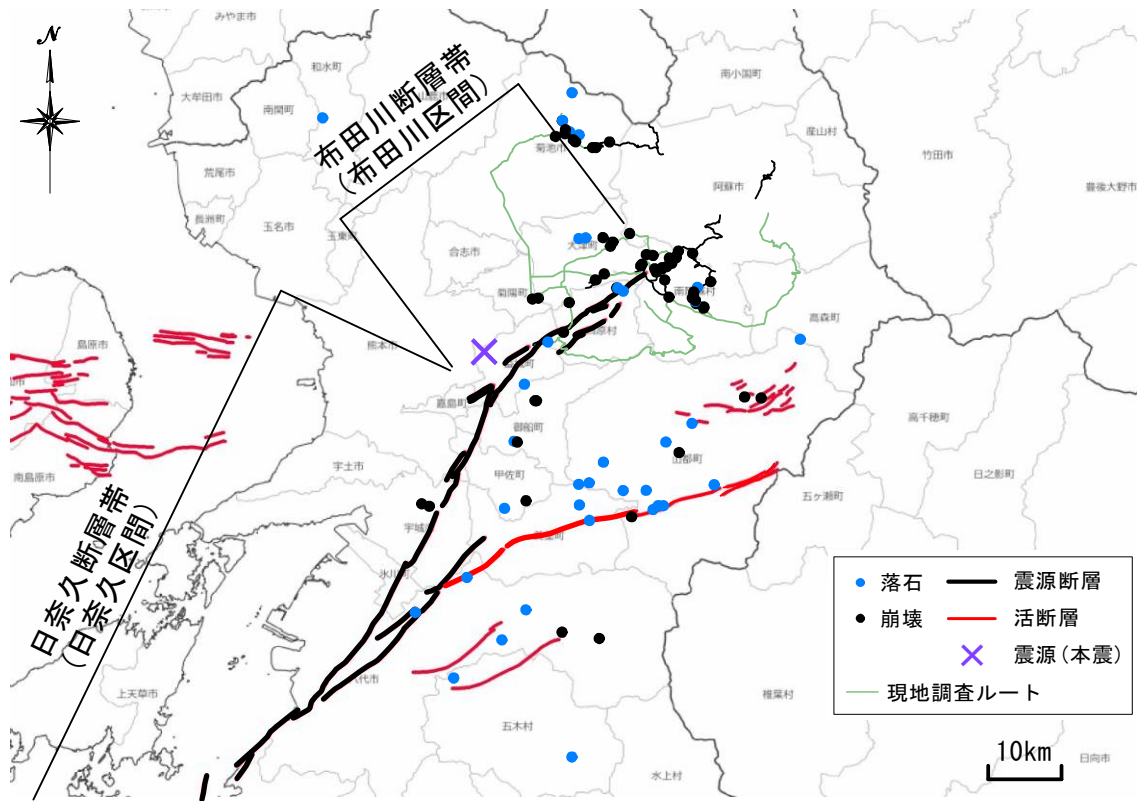


図 2.1.1 道路山側の斜面被害箇所の分布図

2.2. 斜面被害の発生場の特徴

2.2.1 地質

20万分の1地質図⁴⁾をもとに、斜面被害箇所の地質を集計した。地質毎の面積補正を行っていない単純な整理ではあるが、崩壊は約9割、落石は6割が第四紀火山噴出物の分布域で発生している(図2.2.1)。

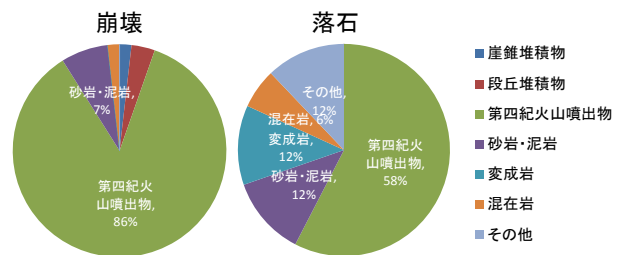


図 2.2.1 斜面被害箇所の地質

今回の調査地域に分布する第四紀火山噴出物は、硬質な溶岩～溶結凝灰岩を除くと全体に固結度が低く、大部分は土砂状を呈している。落

石は主に溶岩や溶結凝灰岩を起源としており、崩壊は火砕流堆積物や火山灰の分布域で発生していることが多い。

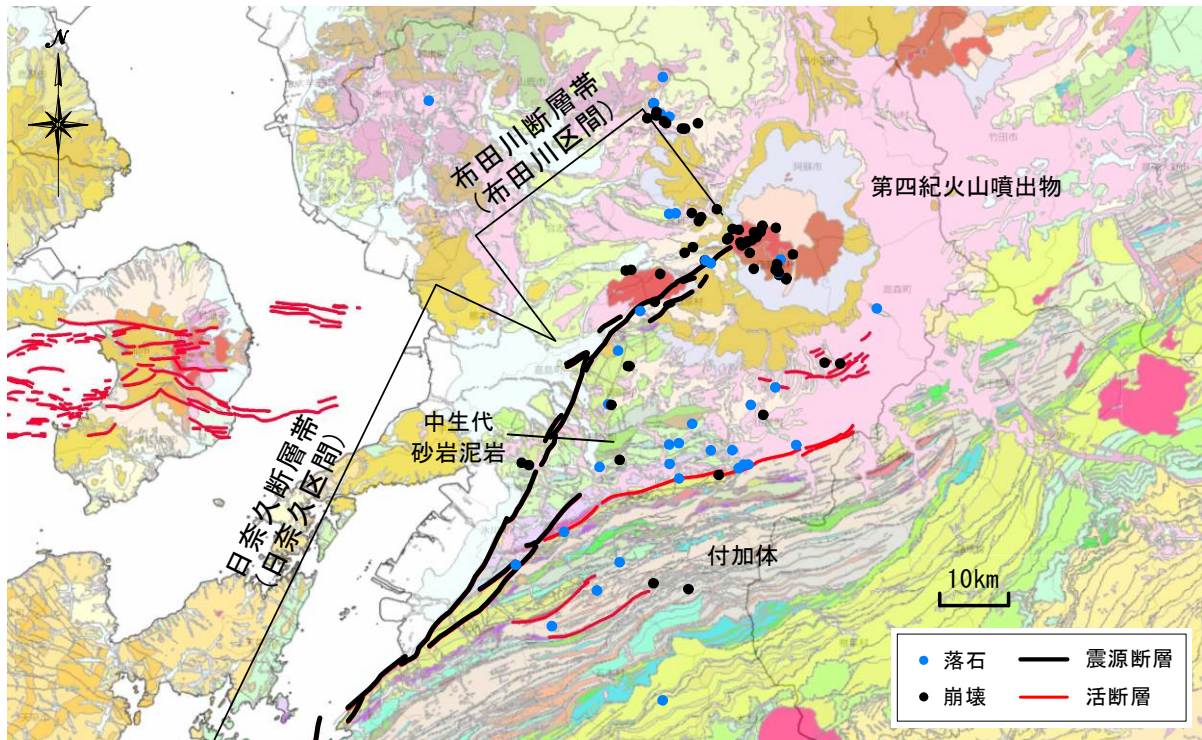


図 2.2.2 斜面被害箇所の分布と地質

2.2.2 地形

(1) 傾斜

傾斜は、国土地理院の 10m メッシュ DEM より作成した傾斜区分図の読み取りと、現地でのレーザー距離計による簡易計測を行った。図 2.2.3 に示すように、落石・崩壊が生じた斜面の傾斜は、30～45° が最も多い。地震時の崩壊が傾斜 30° 以上で多発するとの報告は多いが^{5),6)}、熊本地震では 30° 未満の比較的緩斜面においても 4 割弱の崩壊が生じている点が特徴的である。

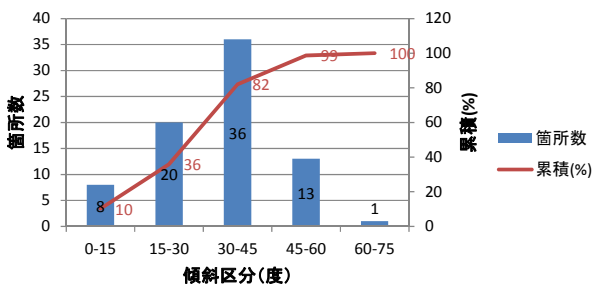


図 2.2.3 傾斜区分と斜面被害箇所数

(2) 斜面方位

落石・崩壊が発生した斜面の方位は NW 及び SE 向きが多く (図 2.2.4)、これは震源断層の走向と直交する方向にあたる。直

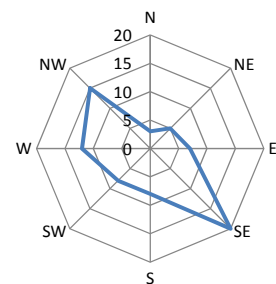


図 2.2.4 各方位の斜面被害箇所数

下型地震の場合は、断層の走向と崩壊斜面が直交する割合が最も大きく、断層破壊の進行方向と直交する方向に振動する S 波が発生し、崩壊の誘因となるとの知見もあり⁷⁾、これと整合する結果である。写真 2.2.1 は、阿蘇山の南西側斜面を遠望したもので、ここでは北西向きの斜面で崩壊が集中的に発生している (矢印位置)。

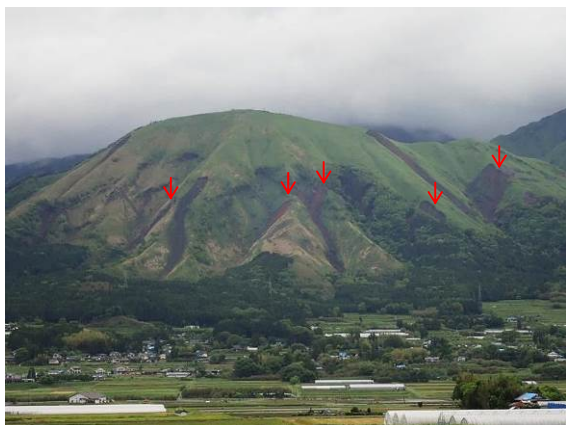


写真2.2.1 北西向き斜面で崩壊が多発する状況

2.2.3 震源断層との距離

図 2.2.5 は、本震の震度分布図⁸⁾に活断層と斜面被害箇所を重ねたものである。当図より、震源断層と斜面被害箇所の直線距離を計測し、この距離と被害箇所数の関係を図 2.2.6 に整理した。被害箇所数は、震源断層の付近から概ね 10km 圏にかけて減少するが、18km 付近をピークに遠距離でも多くの斜面被害が発生している。既往地震の調査事例^{9),10)}では、震源断層からの距離 10~15km 付近で被害はほとんど無くなっているが、熊本地震による斜面被害は遠距離でも多く発生しており、特に緑川断層帯の北部に集中している。

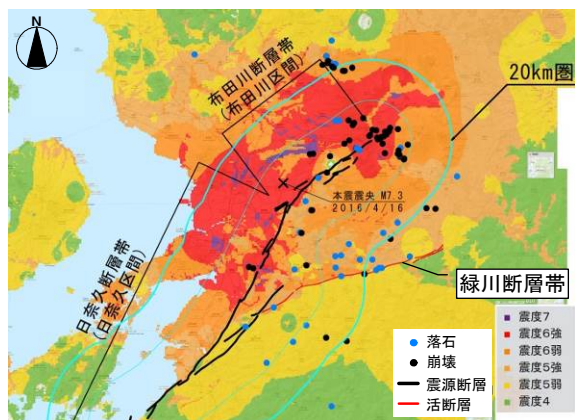


図 2.2.5 震源断層からの距離と斜面被害の分布

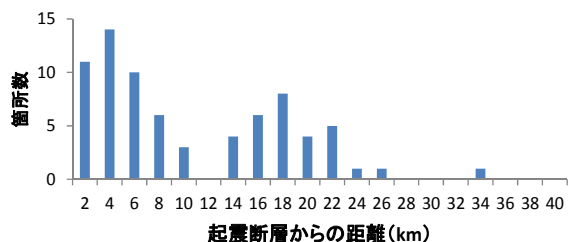


図 2.2.6 震源断層からの距離と斜面被害箇所数

2.3. 斜面被害と震度の関係

2.3.1 震度別の被害箇所数

落石・崩壊による通行規制箇所を震度別に集計すると（図 2.3.1）、震度 5 弱以上で被害が増大し、5 弱~6 強にかけては概ね一様の増加傾向を示している。また、落石と崩壊の内訳をみると、震度が大きいほど崩壊の割合が高く、その傾向は震度 6 弱以上で特に顕著となっている。

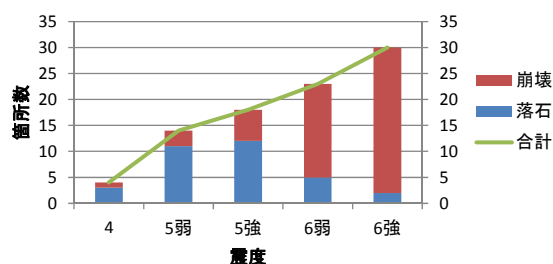


図 2.3.1 震度毎の斜面被害箇所数

2.3.2 震度毎の推定崩壊土量

震度毎の推定崩壊土量の集計結果を図 2.3.2 に示す。震度 5 強~6 弱では推定崩壊土量 1,000m³ 以下が主体であるが、震度 6 強になると 2,000m³ 以下の比較的小規模な崩壊と 10,000m³ 超の大規模な崩壊が増加しており、中規模の少ない大小に偏った分布傾向を示す。

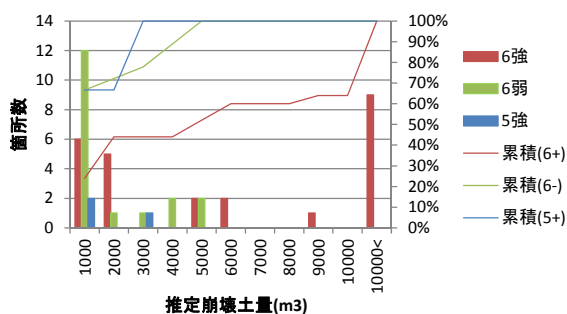


図 2.3.2 震度毎の推定崩壊土量

2.3.3 規制箇所数の時系列変化

熊本地震では、4月14日の前震（M6.5）、4月15日の前震（M6.4）、4月16日の本震（M7.3）¹¹⁾とわずか3日間の間に強い揺れを繰り返し受けたことが特徴的である。図 2.3.3 及び図 2.3.4 は4月14日~16日の落石・崩壊による通行規制箇所の推移を示している。4月14日と15日を比較すると、地震の規模は14日の

方がやや大きいものの、通行規制が開始された箇所数は両日ともほぼ同じで、15日のほうが

小さい震度で多くの被害が生じている(震度分布の面積比は考慮していない)。

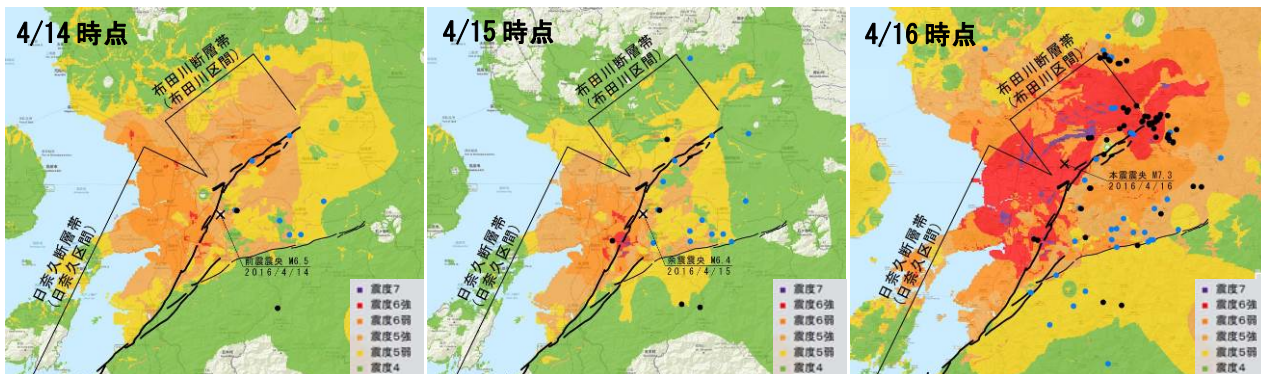


図 2.3.3 震度分布と斜面被害箇所の推移 (4/14~4/16)

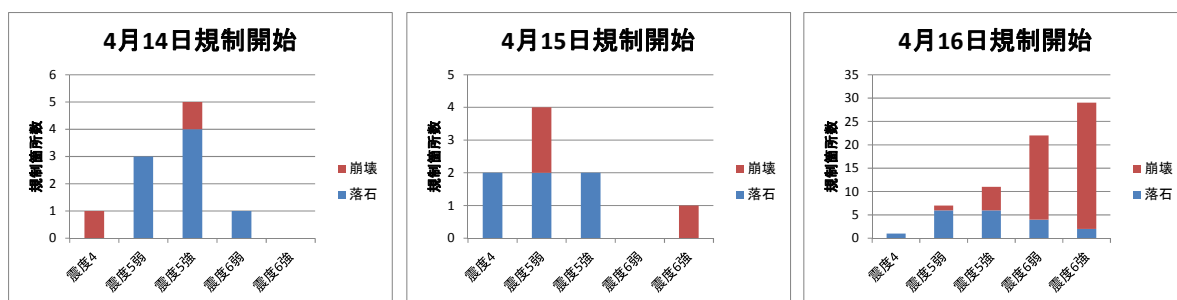


図 2.3.4 震度別通行規制箇所数の推移 (4/14~4/16)

2.4. 斜面被害による通行規制の状況

2.4.1 全面通行止めと解除の割合

熊本県の通行規制情報及び現地調査により全面通行止め箇所の主な規制原因を調べると、最も多いのは路面変状、次いで斜面崩壊、落石であり、落石と崩壊を合わせると全体の約半分を占めている(図 2.4.1)。また、本震直後と1ヶ月が経過した時点の全面通行止め箇所数を比較すると、路面変状や落石では約7割が解除されているのに対し、橋梁や斜面崩壊では約半数で全面通行止めが継続しており(図 2.4.2)、復旧が困難なものが多いことが分かる。

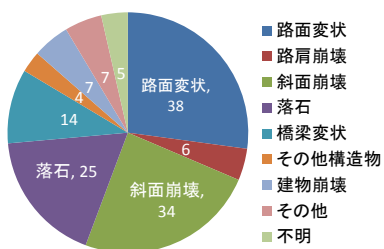


図 2.4.1 全面通行止め規制の原因

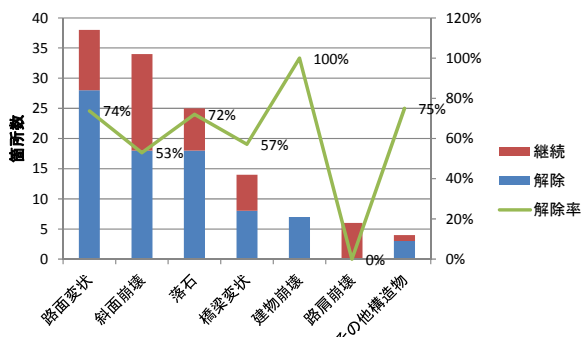


図 2.4.2 原因別の全面通行止め箇所数と1ヶ月後の解除の割合

2.4.2 斜面被害による通行規制の解除時間

図 2.4.3 は全面通行止めとなった斜面の被害箇所について、解除(片側規制等の規制緩和も含む)されるまでの日数と箇所数を整理したものである。全面通行止め開始から1日以内に解除された箇所数は、落石が約20%、崩壊は約5%、1週間以内では落石が約50%、崩壊は約35%となっている。さらに2週間以内では落石が70%、崩壊は40%であり、崩壊については全面通行止めの解除に日数を要していること

ほど崩壊の割合が高く、その傾向は震度6弱以上で特に顕著である。

- ⑥ 最初の地震(4/14)よりもその後(4/15)のほうが小さい震度で多くの通行規制が生じている。
- ⑦ 震度5強～6弱のエリアでは推定崩壊土量1,000m³以下の小規模崩壊が主体、震度6強になると2,000m³以下及び10,000m³超の崩壊が主体となる(中規模の崩壊が少なく、大小に偏っている)。
- ⑧ 本震から1ヶ月が経過した時点の全面通行止め規制は、路面変状や落石では約7割が解除されているのに対し、橋梁や斜面崩壊では約半数で継続している。
- ⑨ 全面通行止めの解除は、崩壊土量が1万m³程度以下の崩壊については、崩壊規模の大小に関わらず比較的早期に行われ、大規模崩壊の早期復旧には相応の重機と人員が導入されたと推測される。

2.6 今後の課題

熊本地震は、火山地域における地震時崩壊の事例として貴重であり、同様の地質が分布する地域の防災対策事業や道路啓開計画への活用が可能と考えられる。今回得られたデータをもとに、より詳細な調査・検討を行い、崩壊の発生・非発生を区別する地形・地質的要因や、崩壊規模に寄与する要因を明らかにし、その結果をもとに、個別斜面や任意の区間、路線に対する地震時崩壊の被害想定を行う予定である。

参考文献

- 1) 熊本県：熊本県防災情報ホームページ,
<http://cyber.pref.kumamoto.jp/bousai/>
- 2) GoogleMap 及び GoogleEarth
- 3) 産業技術総合研究所:活断層データベース,
https://gbank.gsj.jp/activefault/index_gmap.html
- 4) 地質調査総合センター：地質図 Navi ver.1.1.0,<https://gbank.gsj.jp/geonavi/ge>

onavi.php#latlon/6,38.247,137.000

- 5) 日本地すべり学会 (2013)：類型化に基づく地震による斜面変動危険地域評価手法の開発報告書概要版
- 6) 佐々木靖人, 塩見哲也, 阿南修司 (2006)：平成16年(2004年)新潟県中越地震土木施設災害調査報告, 第2編 地形・地質, 国土技術政策総合研究所研究報告; No.27, 土木研究所報告; No.203, pp.9-32.
- 7) 砂防学会 (2013)：東北地方太平洋沖震災調査委員会報告書, 3班 地震動の性質 土砂災害の発生場, pp.147-174.
- 8) 狭域防災情報サービス協議会, 2016年熊本地震 震度分布図
<http://mmdin1.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=0c70dfed551f42c6a27cb22f59fff3ea>
- 9) 地盤工学会(1996) 阪神・淡路大震災調査報告書(資料編 Vol.1) 第6章 丘陵、山地, pp.707-834.
- 10) 地頭菌隆, 下川悦郎, 松本舞恵, 寺本行芳 (1998)：1997年鹿児島県北西部地震による斜面崩壊の分布と地形的特性, 砂防学会誌, Vol.51, No.1, pp.38-45.
- 11) 気象庁：「平成28年(2016年)熊本地震」について(第37報), 報道発表資料,
<http://www.jma.go.jp/jma/press/1604/30a/kaisetsu201604301530.pdf>

3. 平地の地盤被害

総合企画本部：磯山龍二

災害リスク研究センター 土砂防災グループ：佐伯宗大

3.1. はじめに

熊本市、益城町、阿蘇市、南阿蘇村等において、各地で顕著な地盤変状が発生していた。

ここでは、特に、平地における液状化とみられる地盤変状、液状化と現象としては類似しているがやや異なる地盤の変状について調査結果をまとめるとともに、その特性、原因等について現時点での若干の推論を行った。なお、各施設に関連する地盤変状（たとえば河川護岸の崩壊による変状）はそれぞれの章においても述べられ本章と重複することをお断りしておく。

3.2. 液状化とみられる変状

我々はもちろん熊本平野のすべてを調査したわけではないが、いくつかの地点で液状化ないしはそう思われる現象を見た。典型は熊本港で、噴砂と地割れ、護岸の若干のはらみ出しが見られた。また、益城町の運動公園のグラウンドにおいても噴砂が見られた。本節では、地盤の状況から見て液状化が疑われる地点についての調査結果を述べる。

3.2.1 西熊本駅周辺

西熊本駅（熊本市南区近見町）の東側一帯では、液状化と見られる被害が見られた。ビルの傾斜、木造建物の不同沈下、建物周辺地盤の沈下などであるが、顕著な噴砂は見られなかったが一部で噴砂らしきものや地割れは認められた（写真 3.2.1～3.2.3）。調査は地震後約1週間後の4/29に行われたため、その間の雨で流された可能性はある。

液状化が原因と思われる被害は150m×400mほどのエリアで発生しているが、このエリアのすぐ西側には小河川があり、元は河川（それも蛇行する）であったと思われる。



写真 3.2.1 ビルの傾斜，地割れ（西熊本駅周辺）



写真 3.2.2 噴砂と思われる跡（西熊本駅周辺）



写真 3.2.3 地割れとアパート周辺地盤の沈下（西熊本駅周辺）

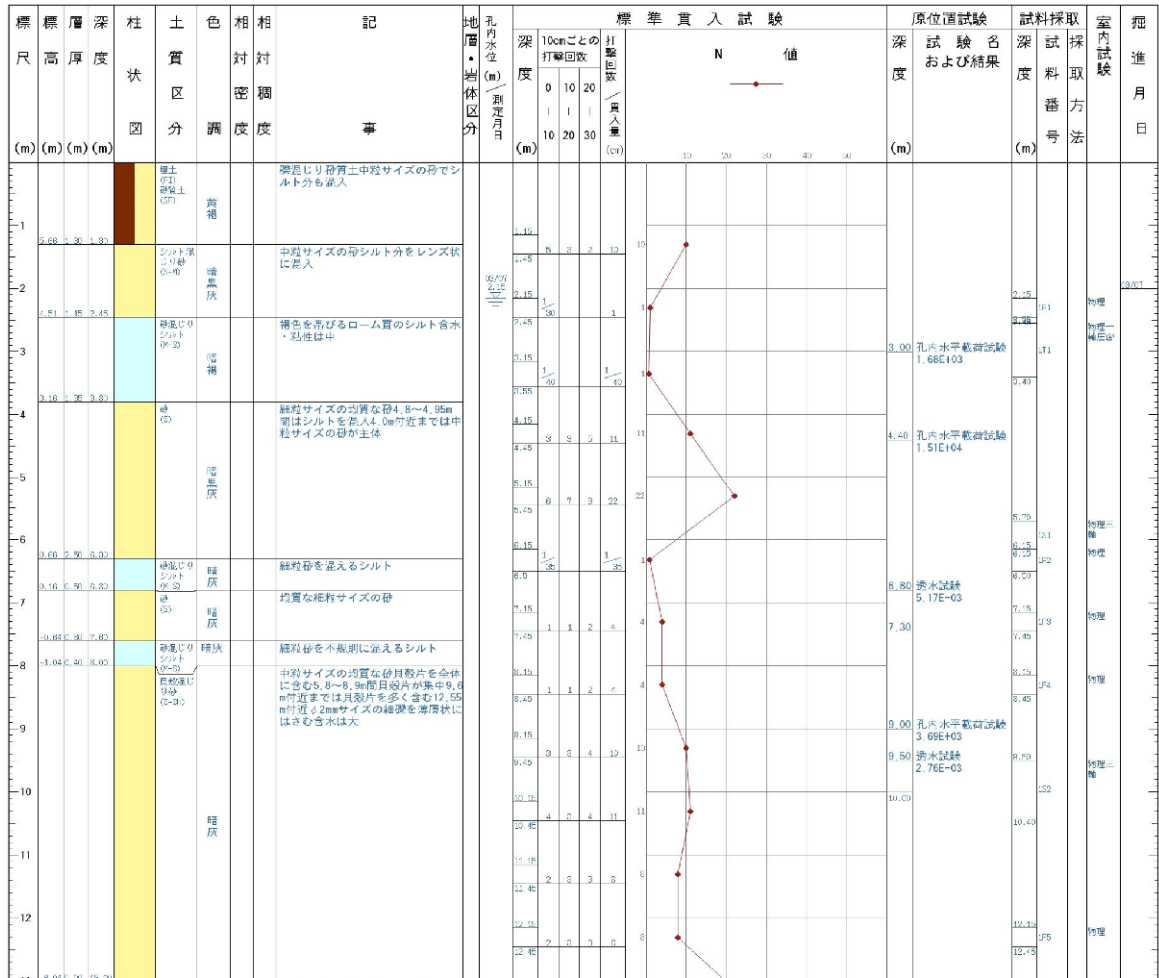


図 3.2.1 西熊本駅から北へ500mほどの地点の地盤柱状図 1)

地下水位以下の-10m程度の地盤は液状化してもおかしくない。なお、このボーリングデータは-13mで切っているが-33mでも工学的基盤は現れない。ボーリングデータはこの付近に何本かあるがいずれも同様の性状である。ボーリングデータ周辺での被害は確認していないが、被害があっても不思議ではないし、あるいは被害の出ている近見町周辺はより緩い砂が堆積していたとも考えられる。

3.2.2 熊本市東区秋津町秋田

熊本市南西部の秋津川、木山川、矢形川の三川が合流する地点、木山川の左岸の宅地で液状化が原因と思われる被害が発生していた。ここが家屋の沈下、傾斜、それに伴う周辺地盤の変状等が見られたが、やはり噴砂は見られなかった。



写真 3.2.4 住宅の傾斜・沈下 (秋津町)



写真 3.2.5 住宅の傾斜・沈下、地盤変状(秋津町)



写真 3.2.6 杭基礎のある住宅 (秋津町)

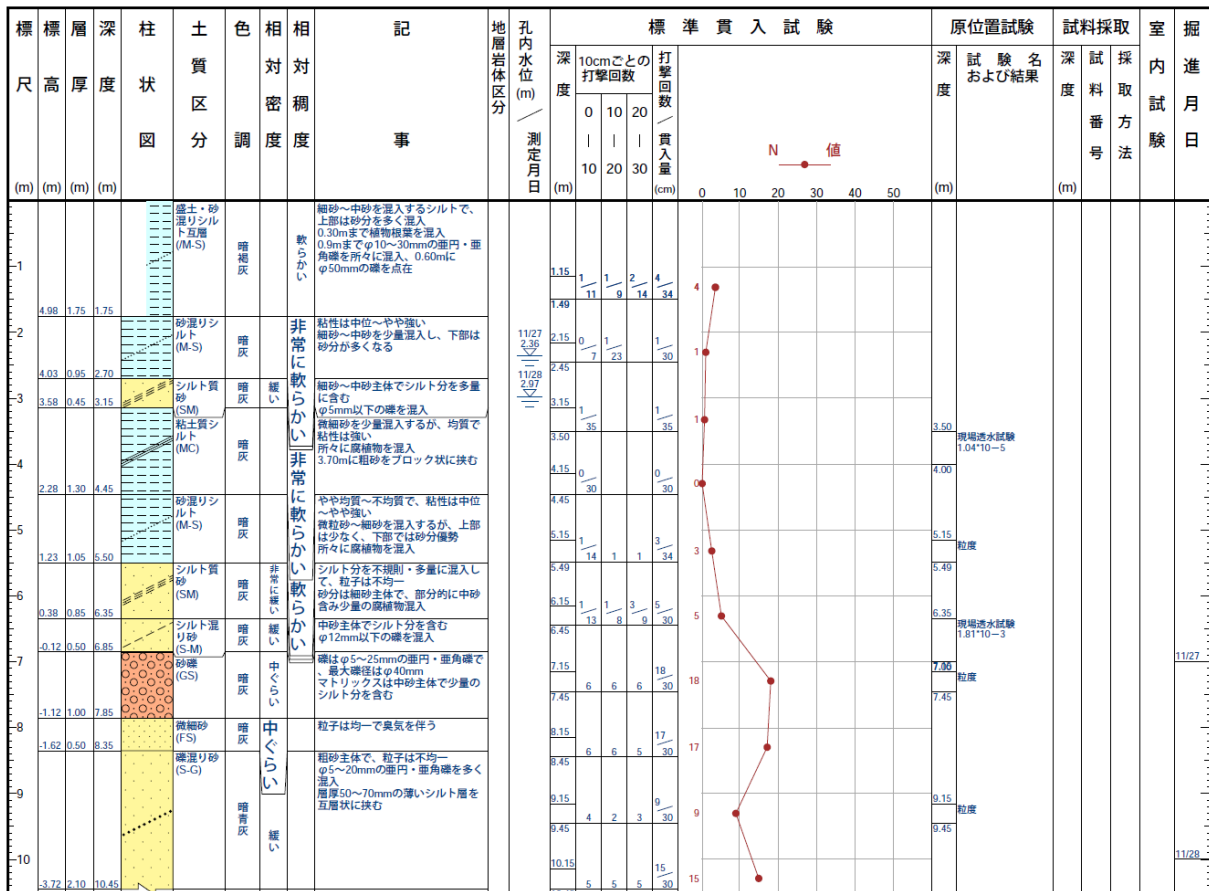


図 3.2.2 秋津町秋田から東へ1kmほどの地点の地盤柱状図¹⁾

このエリアから東に 1km ほど離れた地点の地盤柱状図を図 3.2.2 に示す。-6m 程度までは非常に緩い地盤で、砂混じりシルト、粘土質シルト等の表記で、細粒分が多いが砂も混じっており、液状化と判定してもよいかもしれないが、噴砂の見られないこと、粘土分が多いことから、後述する沼山津や益城町秋津川周辺の同様の現象かもしれない。

3.3. 液状化ではないと思われる変状

熊本市東部から益城町にかけて、おそらく阿蘇外輪山の噴火に起因する火砕流や火山噴出物等が堆積した台地上の地域が広がっている。震源に近い熊本市東区、益城町では地震動も相当に強く、地震動による被害が顕著であったが、台地の際では顕著な地盤変状や地盤に起因する被害が多く見られた。現象としてはビルの傾斜・沈下、地割れ、川に向かった地盤の流動などであり、ほとんど液状化と同じような様相を呈していた。しかしながら、噴砂が見られず、地盤の性状から考えても液状化とは異なる現象が起きていることが推察された。

3.3.1 熊本市東区沼山津の被害

沼山津は熊本市の東部、秋津川の北に広がる台地上の地区で、次に述べる益城町の秋津川沿いのエリアと連続している。最初の地震の震央にも近いが、特に 2 度目 (5/16) の M 7.3 の震央の方がより近い。

我々の調査は沼山津 2 丁目周辺のみであるが、同様の被害がこの一帯に広がっている可能性がある。この地区では、古い住宅の倒壊が多く、熊本市の他の地区に比べ地震動が非常に強かったことが推察される。

写真 3.3.1 にこの地区の代表的な被害状況を示す。ほとんどが古い、あるいは伝統的な日本家屋で被害が顕著であった。

写真 3.3.2 に 6 階建てのマンションの状況を示す。このマンションの一部が傾斜、沈下した。計測はしていないが、最上階のずれは

写真で見る通り 30 cm 程度以上に達していた (遠望目視)。また、周辺地盤もおそらくマンションの傾斜・沈下に伴い変状をきたしていた。



写真 3.3.1 沼山津地区の代表的な被害



写真 3.3.2 傾斜・沈下したマンションと変状(沼山津)

写真 3.3.3 はこのマンションより秋津川に近い、秋津川に流れ込む小河川の状況である。最下流は新しい護岸が完成しており被害はないがそれより上流が大きく崩れ、周辺の家屋の被害を助長している。ここでも噴砂はなく、崩れた地盤も見た目には粘土質のようであった。



写真 3.3.3 沼山津地区の小河川の護岸崩壊



写真 3.3.4 沼山津地区の小河川の護岸崩壊

3.3.2 益城町秋津川周辺

益城町の市街は秋津川の北側の、川に向かって下り勾配の緩い斜面に形成されている。益城町市街地の家屋被害は報道にもある通りかなりひどいが、秋津川に沿う細長い地域では地割れが顕著で、川に向かって地盤が流動していた。このため、家屋は地震動による被害に加え、地盤の流動による影響を蒙っているように見受けられた。

この範囲は目測で秋津川護岸から 10~20 m程度で移動量のまた感覚的ではあるがメートルオーダーと推察された。

秋津川の護岸は全体に大きく動いている状況が見受けられ、川に架かる橋の橋台裏の沈下状況から 50cm 以上は北側地盤全体が沈下しているようであった (写真 3.3.5、3.3.6)。

また、一部では地割れも確認され、地割れは長さ、幅もかなり大きいですが、ここでも噴砂は見られていない (写真 3.3.7)。



写真 3.3.6 橋台背面の段差 (益城町秋津川周辺)



写真 3.3.7 地割れ (益城町秋津川周辺)

なお、旧地形図から判断する限り川筋は大きく変わった様子はない（すなわち埋め立てではない）。

益城町惣領付近から秋津川の支流が合流するが、この付近に流れ込む小河川沿いでも地割れ、川の護岸の被害が大きく、周辺の家屋の被害も大きいようであった（写真 3.3.8）。



写真 3.3.8 益城町惣領周辺小河川沿いの地盤流動

九州道の盛土が被害を受けたすぐ横では新しい住宅が著しく傾斜、沈下していた。写真 3.3.9 に示すが、周辺には噴砂はない。液状化ではよくみられる現象であるが、この地点でも建物周辺の地割れはあるが、噴砂はない（流動の形跡もない）。

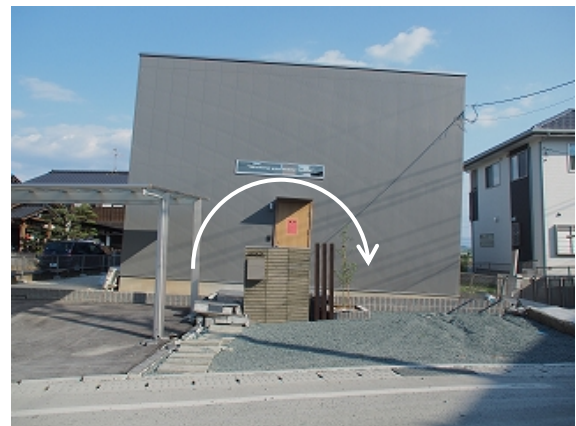


写真 3.3.8 益城町九州道に近い家屋の傾斜・沈下（福富）

図 3.3.1 にこの地域の代表的な地盤柱状図を示すが、表層 8m 程度までは非常に緩い粘土あるいは粘土質シルトと表記されている。この周辺の地盤柱状図は同じ傾向を示し、少なくとも砂が堆積している様子はない。

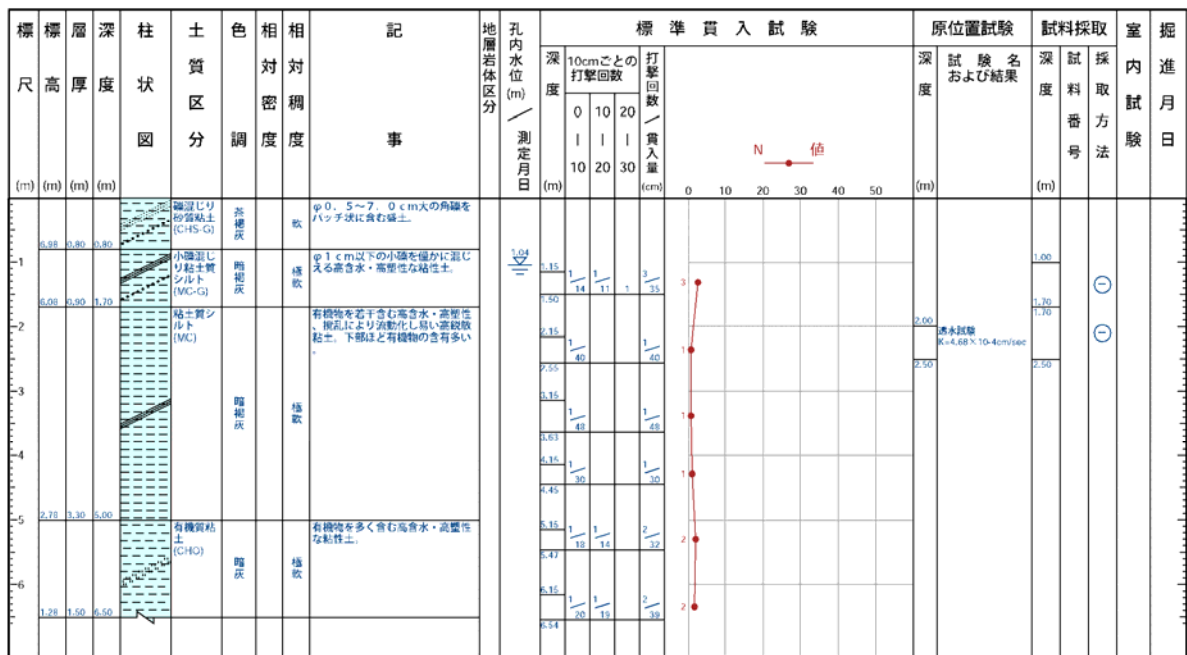


図 3.3.1 益城町秋津川沿いの地盤柱状図¹⁾

3.4. 地盤変状に関する現時点での推論

(1) 西熊本駅東側地区の変状

西熊本駅東側地区は旧河川、あるいは旧河川沿いで、周辺に噴砂痕跡も見られること(写真 3.4.1 参照)、また、地盤性状が、比較的ゆるい砂が主体であることから、液状化によるものと推察される(図 3.4.1 参照)。



写真 3.4.1 西熊本地区の航空写真⁴⁾
(2016/4/16 撮影)

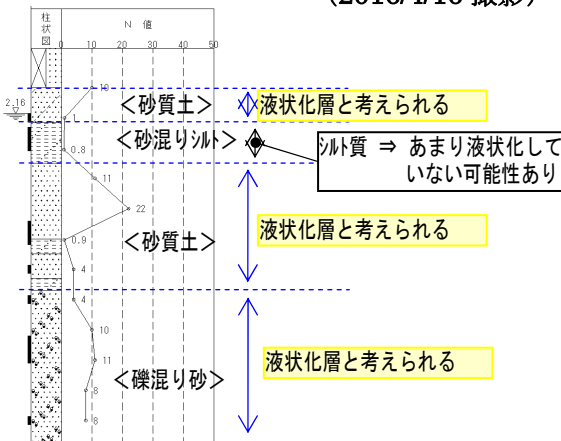


図 3.4.1 熊本駅から北へ 500mほどの地点の略式地盤柱状図¹⁾を図化

(2) 熊本市東区秋津町秋田

熊本市東区秋津町秋田の変状についても地形、家屋の沈下や周辺の地盤の状況から見て液状化が疑わしい。地盤は表層付近はシルト質粘土がメインで、下位にシルト質砂層あるいは礫混り砂質土層が堆積しており、下位層

は液状化した可能性がある。

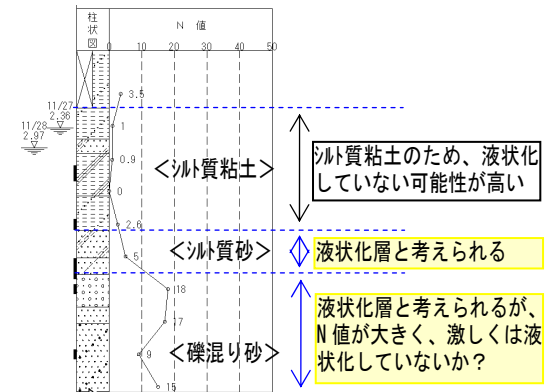


図 3.4.2 秋津町秋田から東へ 1kmほどの地点の略式地盤柱状図¹⁾を図化

ただし、家屋の変状等が確認された地域は、地形分類図⁴⁾(図 3.4.3 参照)で、旧河道が入り組んでいる地形部にあり、図 3.4.4 に示すように、その旧河道部に噴砂痕跡は確認されているため、表層付近でも液状化している可能性は考えられる(詳細な調査を行わないと、断定的なことは言えない)。

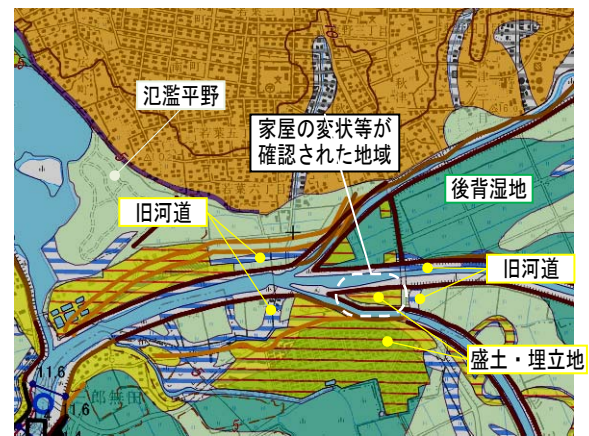


図 3.4.3 秋津町秋田付近の地形分類図⁴⁾



図 3.4.4 秋津町秋田付近の航空写真⁴⁾
(2016/4/15 撮影)

(3) 熊本市東区沼山津、益城町秋津川沿い

東区沼山津、益城町の秋津川沿いの地盤は火山灰に起因すると思われる非常に軟弱な粘性土が主体(図 3.4.5 参照)であり、噴砂痕跡も明確には確認されなかった。

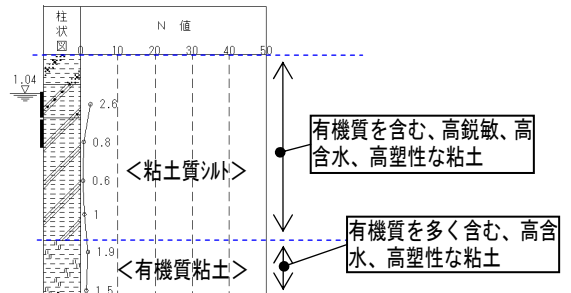


図 3.4.5 益城町秋津川沿いの略式地盤柱状図 1) を図化

同地区の地震発生後の航空写真(斜め・垂直)を確認すると、最初の地震が発生した後の4/15時点では、秋津川護岸が大きく動いている状況を確認できないが、2回目の地震(本震)が発生した後の4/16時点では、大きな変状が生じていることが確認できた。



図 3.4.6 益城町秋津川沿いの航空写真 4)

この状況から考えると、地震動が繰返し立て続けに作用したことの影響が大きい変形に繋がっているように推察される。

(4) 沼山津、益城町付近の火山灰粘土

図 3.4.5 の柱状図にあるような、沼山津、益城町付近の表層付近の粘土について、國生他²⁾が沼山津地区で調査試験を実施している。その調査・試験結果によると、この粘土は鋭敏比が非常に高く(鋭敏比 100 前後)、繰返し荷重による間隙水圧の上昇はみられるものの、緩い砂のように完全に強度が失われはしないことが確認されている(図 3.4.7 参照)。

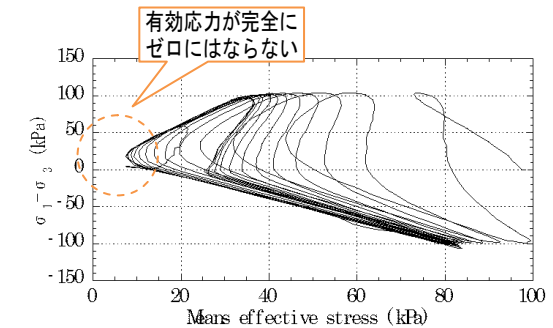


図 3.4.7 鋭敏比の高い火山灰粘性土の繰返し載荷時の有効応力経路²⁾

しかしながら、繰返し回数 30 回時点で見ると、繰返し荷重比が 0.4 を超えるあたりから、急激にひずみが増大し始めることも確認されており、載荷荷重が大きく、繰返し回数が多い場合であれば、地震動の作用により、10%を超えるようなひずみが生じる可能性も考えられる結果が得られている。

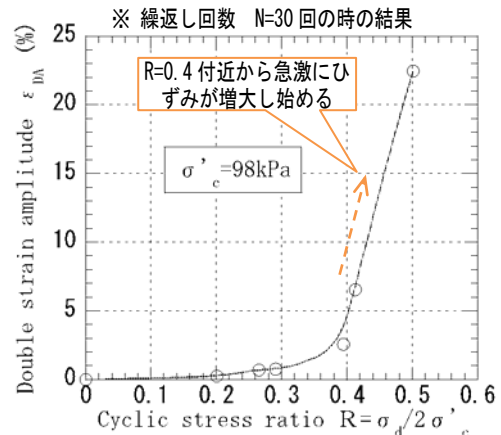


図 3.4.8 両振幅ひずみと繰返し化応力比の関係(繰返し回数 30 回)²⁾

また、繰返し载荷後のせん断試験結果から、繰返し载荷により変形係数が低下していくことが確認されている（この試験では、载荷前の1/2～1/4に低下）。つまり、地震動の作用がおさまった後でも、建物の自重などによりさらに変形が生じた可能性が考えられる。

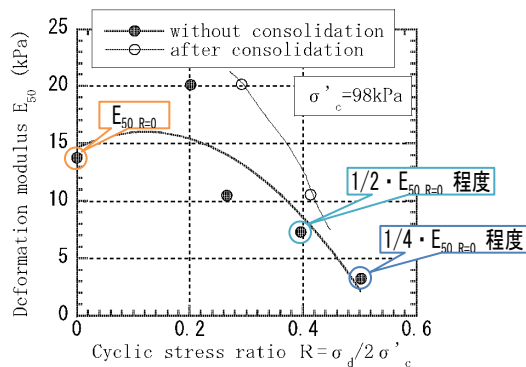


図 3.4.9 繰返し载荷後の静的試験せん断試験による変形係数と繰返し応力比の関係³⁾

以上の試験結果の傾向を踏まえると、沼津、益城町で発生した地盤変状は、このような軟弱で鋭敏比の高い粘性土の「繰返し軟化」に起因するものと思われ、益城町の地盤流動などは、粘土地盤の軟化により、おそらく何度も地震の影響により徐々に（重力の影響により）河川方向に流動していったものと推察される（益城町の上部和秋津川の標高差は約30m）。

具体的には、4/14に起きた1回目の地震（前震）では、繰返しの振幅や繰返し回数が、護岸の大きな変状を起こすにまで至っておらず、4/16に起きた2回目の地震（本震）では、1回目での繰返しによる軟化の影響が戻らない状態のまま、さらに大きな振幅の揺れが繰り返したことにより、軟化が進み、大きな変形につながった可能性があると考えられる。

また、九州道に近い建物の傾斜・沈下についても、同様の現象が生じ、基礎地盤の粘土の「繰返し軟化」により徐々に沈下、傾斜していったものと推察される。

(5) その他

なお、国土地理院による、干渉 SAR の結果を組み合わせを行った2.5次元解析⁴⁾により、ほぼ益城町の秋津川を境に北側では最大1m以上の沈降と東向きの変動、南側では最大30cm以上の隆起と50cm以上の西向きの変動が生じたことが明らかとなっているが、この断層による地殻変動も関与している可能性もある。

以上

参考文献

- 1) 地質地盤ポータルサイト：平成28年（2016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/api/2016KumamotoEQ/index.html>)
- 2) 國生,大川,大島,加藤,中島：鋭敏比の高い火山灰粘性土の地震時力学特性（その1）、第38回地盤工学研究発表会（秋田）、2003年7月
- 3) 國生,大川,大島,加藤,中島：鋭敏比の高い火山灰粘性土の地震時力学特性（その2）、第38回地盤工学研究発表会（秋田）、2003年7月
- 4) 国土地理院ホームページ：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>)

4. 道路構造物の被害

東京支社 防災保全部：美藤友郎・押川亮彦・佐伯宗大・眞野基大・片根弘人
 関西支社 防災保全部：藤田亮一
 中国支社 防災保全部：栗林健太郎・千野駿也・坂部晃子

4.1 橋梁

4.1.1 調査概要

今回の地震では、布田川断層付近で道路構造物の被害が多く発生している。ここでは、熊本県内における橋梁の被害について、近接目視可能であったものを中心に調査結果を報告する。調査箇所位置図を以下に示す。

以下、橋梁毎の被害状況概要を報告する。

4.1.2 神園橋 (4/28 撮影)

路線名：不明 (熊本市管理)

橋梁形式：RC3 径間連続中空床版橋

竣工年次：昭和 51 年 (S47 道示)

耐震補強：未実施 (想定)

被害内容：橋脚傾斜、橋台背面沈下

地震によりロッキングピア形式の橋脚が傾斜し、橋軸直角方向への上部工の移動が生じた橋梁である。調査を実施した 4/28 時点ではすでに上部工、橋脚が撤去済みであった。また、架け替え設計用と思われる地質調査が

既に実施されていた。残された橋台を見る限り、橋軸直角方向の変位を抑制する突起等は設置されていなかったと思われる。



写真 4.1.1 橋台状況



写真 4.1.2 橋脚傾斜状況(国交省 HP より)



図 4.1.1 調査箇所位置図

4.1.3 日向一号橋 (4/28 撮影)

路線名 : 不明 (熊本市管理)

橋梁形式 : PC2 径間連続中空床版橋

竣工年次 : 昭和 51 年 (S47 道示)

耐震補強 : 縁端拡幅、RC 突起 (橋軸直角方向)

被害内容 : 橋台背面沈下

上部工移動が発生した神園橋の南西に位置する橋梁であり、同じロックンギピア形式の橋脚を有する。神園橋からさほど離れた位置ではないが、上部工移動等の異常は見られなかった。前項の神園橋との違いは、橋台に橋軸直角方向の移動を抑制可能な RC 突起が設置されていることである。



写真 4.1.3 全体状況



写真 4.1.4 ロックンギピア状況(異常無し)



写真 4.1.5 橋台状況(RC 突起有り)

4.1.4 秋津川橋 (4/28 撮影)

路線名 : 九州自動車道 (NEXCO)

橋梁形式 : 鋼 3 径間連続晩桁橋

竣工年次 : 不明

耐震補強 : 橋脚 RC 巻立て、その他は不明

被害内容 : 支承損傷、沓座欠損、主桁変形
対傾構変形、パラペット損傷

橋台背面盛土が崩壊している橋梁であり、支承の損傷により上部工が橋軸方向に大きく移動し、桁端部が橋台パラペットに食い込み、パラペット、主桁ともに損傷している。主桁、対傾構で座屈跡が多数見られ、橋脚沓座コンクリートにも欠損が生じている。一方、RC 巻立て補強済みである橋脚柱部には損傷が見られず、沈下等による橋脚傾斜が生じているというような状況も確認できなかった。



写真 4.1.6 橋梁全景



写真 4.1.7 上部工の移動による橋台の損傷



写真 4.1.8 対傾構の座屈



写真 4.1.9 支承の損傷(脱落した部材)



写真 4.1.12 橋梁全景



写真 4.1.10 沓座のコンクリート欠損



写真 4.1.13 上部工移動と通行規制



写真 4.1.11 橋脚状況(柱部には損傷無し)



写真 4.1.14 上部工の移動と地覆側面の剥離

4.1.5 沼山津橋 (4/28 撮影)

路線名 : 不明 (熊本市管理)

橋梁形式 : PC プレテン中級床版×3 連

竣工年次 : 昭和 54 年 (S47 道示)

耐震補強 : 未実施

被害内容 : 上部工移動、地覆欠損、
橋台背面沈下

上部工が橋軸直角方向に移動し、各径間でずれが生じている橋梁である。調査を実施した 4/28 時点では路肩にカラーコーンを設置し、通行制限が実施されていた(橋梁を渡った先の住宅地には住民以外は進入禁止となっていた)。掛け違い部の地覆側面に剥離が見られるが、その他下部工等には大きな被害は見られなかった。

4.1.6 木山川橋 (4/28 撮影)

路線名 : 九州自動車道 (NEXCO)

橋梁形式 : 鋼連続鈹桁橋

竣工年次 : 不明

耐震補強 : 橋脚巻立て補強

被害内容 : 支承損傷、沓座欠損、主桁変形、
パラペット衝突、壁高欄剥離

上部工の移動に伴う支承の損傷により、主桁の変形、沓座コンクリートの欠損、パラペットの欠損等が生じている。上り線、下り線ともに損傷程度は同程度と思われる。調査を実施した 4/28 時点では上り線のみベント+油圧ジャッキにより仮受けが実施されていた(翌日 4/29 には交通解放)。巻立て補強が実

施されていた橋脚柱部について損傷は確認できなかった。



写真 4.1.15 橋梁全景



写真 4.1.16 主桁と橋台部の地覆衝突

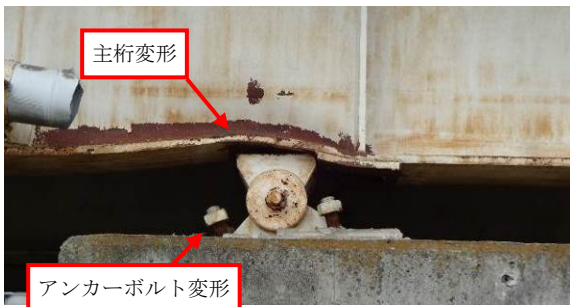


写真 4.1.17 支承および主桁の損傷



写真 4.1.18 支承の損傷と沓座の欠損



写真 4.1.19 橋脚巻立て補強部(損傷無し)



写真 4.1.20 上り線応急復旧作業状況

4.1.7 六田橋 (4/28 撮影)

路線名 : 不明 (熊本市管理)

橋梁形式 : PC プレテン T 桁×3 連

竣工年次 : 不明

耐震補強 : 未実施

被害内容 : 橋台背面沈下、橋脚柱部剥離

橋台背面沈下が生じているが、上部工移動等は見られなかった。橋脚柱部に剥離・鉄筋露出が見られたが、鉄筋破断は見られなかった。



写真 4.1.21 橋梁全景



写真 4.1.22 橋台背面沈下(応急復旧済み)



写真 4.1.23 橋脚柱部の損傷



写真 4.1.26 支承損傷状況(ピン破断)

4.1.8 白川橋 (4/28 撮影)

路線名 : 不明 (熊本市管理)

橋梁形式 : 単純鋼アーチ橋

竣工年次 : 不明

耐震補強 : 落橋防止システム

被害内容 : 伸縮装置段差、支承損傷、
上部工移動

上部工の移動により橋台部のピン支承に損傷が生じていた。調査を実施した 4/28 時点では既に通行止めとされていた。支承部に損傷は生じているが、上部工および下部工には大きな損傷は見られなかった。



写真 4.1.24 橋梁全景

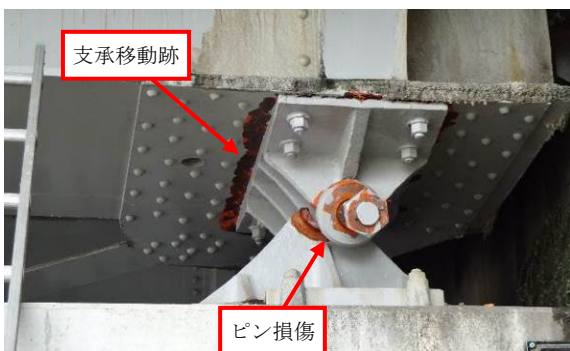


写真 4.1.25 支承損傷状況(移動跡有り)

4.1.9 第一畑中橋 (4/28 撮影)

路線名 : 不明

橋梁形式 : プレテン桁×3 連

竣工年次 : 昭和 36 年

耐震補強 : 縁端拡幅

被害内容 : 橋台背面段差、橋脚せん断破壊、
上部工移動

パイルベント形式のコンクリート橋脚の上端でせん断破壊が生じていた。その他の橋脚の上下端での損傷状況を見ると、端部で盛りコンクリートが剥離しており曲げが卓越した挙動であったと推測できる。破壊された橋脚の配筋状態から帯鉄筋間隔が広いことがわかり、おそらく曲げからせん断破壊に移行する破壊メカニズムであったと思われる。また、橋台背面は 30cm ほど沈下しており、車両通行ができない状態であった。



写真 4.1.27 橋梁全景



写真 4.1.28 柱頭部のせん断破壊



写真 4.1.29 柱頭部被りコンクリート剥離

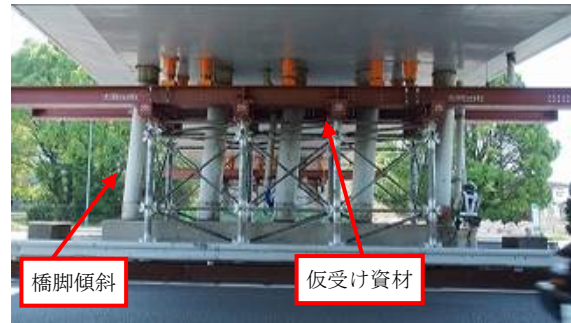


写真 4.1.31 橋脚状況



写真 4.1.32 橋台沓座の欠損

4.1.10 東原橋 (4/30 撮影)

路線名 : 九州自動車道熊本 IC ランプ橋

橋梁形式 : 2 径間連続 PC 橋

竣工年次 : 不明

耐震補強 : 不明

被害内容 : 橋脚傾斜、橋台欠損

地震によりロッキングピア形式の橋脚が傾斜し、橋軸直角方向への上部工の移動が生じた橋梁である。また、橋台橋座部にも支承移動によるコンクリート欠損が生じていた。調査を実施した 4/30 時点では仮受けをした状態で橋下の交通を解放していた。



写真 4.1.30 橋梁全景

4.1.11 まとめ

今回調査を実施した橋梁被害状況を整理すると以下のような傾向があったと考えられる。

- ①落橋・傾斜が生じた橋梁は、ロッキングピア形式やパイルベント形式の橋脚であった。これは、橋軸直角方向へ変形を生じやすい下部構造の損傷や橋軸直角方向の変位を抑制可能な突起等が設置されていないことが影響している可能性がある。
- ②河川周辺（特に秋津川）は、地盤沈下等の被害が多く、橋梁被害も確認された。しかし、橋台背面土の沈下による交通への支障は生じているが、地盤の変動による橋梁本体への直接的な影響は確認できなかった。
- ③耐震補強が実施された下部工および比較的新しく見える橋梁は被害が少なかった。これは、兵庫県南部地震以降の基準（復旧仕様、H8 道示以降）で設計、補強された橋梁については、それなりの効果が発揮されたものと考えられる。特に橋脚柱部の RC 巻立て部では損傷は確認できなかった。

4.2 カルバート

4.2.1 調査概要

今回の調査では、布田川断層近傍を通る高速道路盛土（九州自動車道および九州中央自動車道）を横断するカルバートを中心に被害状況の確認を行った。図 4.2.1 に調査カルバートの位置を示すが、高速道路盛土部のカルバート 14 基、一般国道部のカルバート 1 基に対して目視調査を実施した。なお、調査は 2016 年 4 月 28 日、29 日の 2 日間で実施している。

表 4.2.1 に対象カルバートの調査結果概要を整理した。対象 15 基のうち、14 基は現場打ちボックスカルバート（高速道路部：13 基、一般国道部：1 基）であり、残り 1 基がプレキャストアーチカルバートとなっている。

対象としたカルバートはいずれも断層から 1.5km 程度と近傍に位置していたが、発生したカルバートの変状の殆どが目地開きであり、

躯体コンクリートの損傷が確認されたのは 2 基程度であった。ただし、それらの損傷の度合いも通行止めを行う必要とするような重度なものではなく、比較的軽微な損傷に止まっていた。

以降には、これらのカルバートの代表的な損傷例を示す。

表 4.2.1 調査結果概要

No.	路線名	カルバート名	種類	目地箇所数	損傷状況	
1	九州自動車道 (嘉島JCT～御船IC)	熊本27	現場打ち ボックス カルバート	1	変状なし	
2		熊本28		1	目地開き(210mm程度)	
3		熊本29		1	目地開き(80mm程度)	
4		熊本30		1	目地開き(180mm程度)	
5		熊本31		1	目地開き(250mm程度) 目地ズレ(40mm程度)	
6		熊本32		1	目地開き(90mm程度)	
7		熊本33		3	目地開き(120mm程度、 60mm程度、 80mm程度)	
8		御船5		2	目地開き(110mm程度、 ○mm程度)	
9		御船6		1	目地開き(55mm程度)	
10		九州自動車道 (御船IC～緑川PA)		御船8	2	目地開き(180mm程度、 ○mm程度)
11		御船9		1	変状なし	
12		御船10		1	目地開き(55mm程度)	
13		御船11		1	変状なし	
14	九州中央自動車道 (嘉島JCT～小池高山IC)	---	プレキャスト アーチ カルバート	---	・側壁部材の傾斜 ・アーチ部材の カルバート軸方向 クラック	
15	国道443号 (寺迫交差点付近)	---	現場打ち ボックス カルバート	0	・坑口部コンクリート 剥落 ・側壁隅角部(上端部) カルバート軸方向 クラック?	



※国土地理院 HP(<http://www.gsi.go.jp/>)データに一部加筆

図 4.2.1 調査カルバート位置

4.2.2 代表的な被害

(1) 現場打ちボックスカルバートの被害

写真 4.2.1 に九州自動車道（熊本 31）における被災状況を示す。本カルバートが今回調査を実施した中で最も目地開き量が大きかった箇所である。本カルバートでは、カルバート軸方向に目地部で約 250mm の開口が生じ、カルバート横断方向（水平方向）にも約 40mm のズレが生じていた。調査した時点では側壁の背面部（盛土側）に鋼矢板が応急対策として打込まれており、土砂の流入を防いでいる状況であった。側壁部には変状発生直後の（恐らく）NEXCO による調査結果（「頂版：空が見えている」とのコメント）が記載されており、変状発生直後には、頂版および側壁から大量の土砂が流入してきたことが想像されるが、調査時点では土砂は全て撤去されている状況であった。



(a) 坑口部



(b) 目地開き

(c) 目地ズレ

写真 4.2.1 被災状況（熊本 31）

写真 4.2.2 に九州自動車道（熊本 33）の被災状況を示す。本カルバートは、調査したカルバートの中で最も延長が長く 3 箇所に目地が設けられた構造となっている。いずれの箇所でも目地開きが生じており両坑口側でそれぞれ 120mm、80mm、中央部で 60mm の開き量が確認された。両坑口側の目地からは大量の土砂が流入している状況も確認された。また、本カルバートに限らず、変状（目地開き）が確認されたカルバートの多くで坑口部が写真 4.2.2 (b) のように沈み込んだような変状の痕跡があり、カルバート躯体が盛土天端中央部付近に向かい沈下している状態であった。

写真 4.2.3 に国道 443 号線沿い（益城町寺迫交差点付近）に位置するカルバートの被災状況を示す。写真 (c) に示すように、西側坑口部では脇にあるブロック式擁壁の崩壊に伴



(a) カルバート内部



(b) 坑口部の路面

写真 4.2.2 被災状況（熊本 33）



(a) 全景 (東側坑口部)



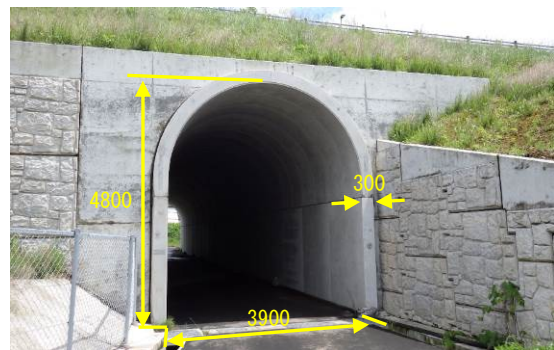
(b) 側壁上側隅角部の亀裂



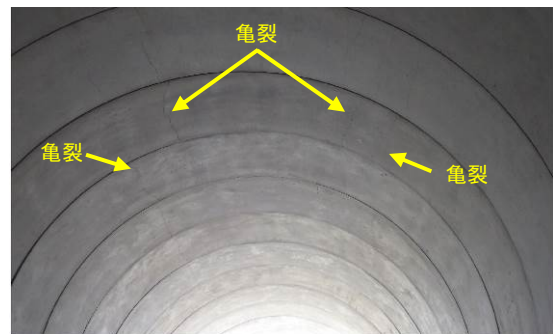
(c) 西側坑口部の被害

写真 4.2.3 被災状況 (益城町寺迫交差点付近)

い躯体に大きな側圧が作用したと考えられ、躯体コンクリートが大きく損傷している状況であった。写真 (b) にカルバート内部の損傷状況を示すが、側壁上側の隅角部付近で、カルバート軸方向の亀裂が確認された（表面が塗装された状態で、塗膜は破れてはおらず、開口幅は測定できていない）。この亀裂は、恐らく地震時におけるカルバート横断方向の変形に伴い発生したものと考えられる。本カルバートでは、重度な躯体損傷は坑口部付近のみであり、写真 (a) に示すように、カルバート上部の車の通行は特に規制されている状況ではなかった。



(a) 全景



(b) アーチ部の亀裂

(2)プレキャストアーチカルバートの被害

写真 4.2.4 に九州中央自動車道の小池高山 IC 付近にあるプレキャストアーチカルバートの被災状況を示す。本カルバートは、内空幅 3900mm、内空高 4800mm、部材厚 300mm

写真 4.2.4 被災状況 (小池高山 IC 付近)

(現地計測結果)の断面を有する二分割式プレキャストアーチカルバートである。写真(b)はカルバート内部のアーチ部材の損傷状況(亀裂の発生状況)を示している。写真に示すように、アーチ部材において、クラウン部(アーチ頂部)からやや外れた位置に、カルバート軸方向に亀裂が発生している状況であった。この亀裂は、坑口部には発生しておらず、カルバートの内部の方で発生している状況であった。亀裂幅は測定できてないが、3m程度離れた位置から目視で十分に確認できるものであったため、比較的開口幅が大きい亀裂であると言える。側壁部材については、特段目立った亀裂は発していなかったが、側壁の傾斜を測定すると、地山側にやや倒れ込むような状態が確認できた。

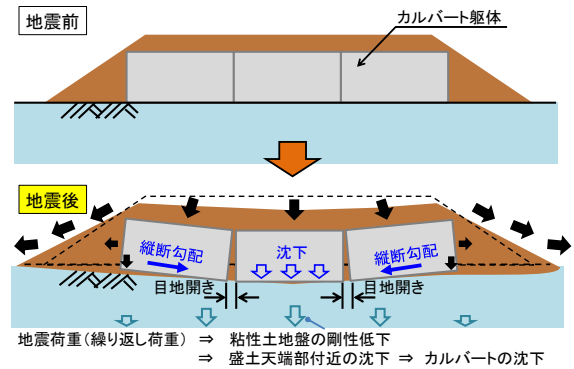
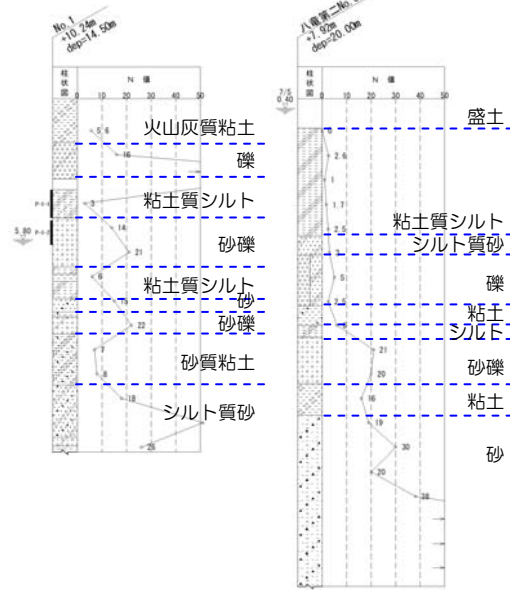


図 4.2.2 カルバートの変状イメージ



(a)ボーリング位置



(b)No.1

(c)八竜第二 No.6

※国土地理院 HP(<http://www.gsi.go.jp>)データに一部加筆
 ※(一社)全国地質調査業協会連合会：平成28年(2016年)
 熊本地震復興支援ボーリング柱状図緊急公開サイトより引用

図 4.2.3 カルバート周辺の地盤条件

4.2.3 被害メカニズムの考察

(1) 現場打ちカルバート

今回調査した現場打ちカルバートの被害の特徴は、目地部の開きと躯体の沈下である。現地の状況から推測すると、図 4.2.2 に示すような変形状態に至ったと考えられる。図 4.2.3 に今回調査した九州自動車道のカルバート位置と治水地形分類図を重ねたものを示す。これより、調査したカルバートは氾濫平野もしくは旧河道部に位置することがわかる。本図には周辺のボーリング位置も併記しているが、これらのデータを見る限り、カルバートが敷設されている一帯は基本的には粘性土と砂礫層の互層構造となると推測される。

カルバートの変形状態と基礎地盤の状況から、今回調査したカルバートの変状は次の①、②の複合的な挙動により生じたものと推測される。

- ①地震時の盛土材の揺すり込み沈下により盛土が横断方向に孕み出すモードで変形し、目地部の開きが発生。

②強震動の繰り返し作用により、基礎地盤の粘性土の剛性が低下し、荷重レベルの大きい盛土天端付近で沈下が発生。

(2) プレキャストアーチカルバート

図4.2.4に小池高山IC付近にあるプレキャストアーチカルバートに発生した変状（アーチ部材の亀裂および側壁の傾斜角、内宮幅の拡大量）を整理した。これより、概ね側壁 No.7～16 区間でアーチ部材に亀裂が生じていることがわかる。側壁の傾斜角は No.12～17 区間で特に大きく、最大で2度程度地山側に傾斜している状況であった。地震時に側壁下端部がカルバート内空方向へ変位していないと仮定すると、側壁上端部位置で内空幅が最大で約150mm 拡大している計算となる。内空幅の拡大量に着目すると、内空幅が70mm 程

度拡大した範囲でアーチ部材に亀裂が生じ、特に100mmを超えた範囲での亀裂の発生は顕著である。つまり、アーチ部材下端部（側壁部材との接合部）が股開きの状態になることで、亀裂が生じたものと推測される。

写真4.2.5にカルバート上部盛土の状況を示す。カルバート前後区間の盛土が沈下し、カルバート直上の路面において段差（不陸）が生じている状況であった。これは、地震時に盛土部で揺すり込み沈下が生じたことにより、盛土厚の薄いカルバート直上と盛土厚の厚い前後区間とで沈下差が生じたためであると推測される。この沈下の相対差から、カルバート直上の盛土に鉛直下向きの荷重（鉛直土圧）が加わったものと考えられる。この地震時の鉛直土圧の増加が誘因となり、カルバート側壁が地山側へと倒れ込んだものと考え

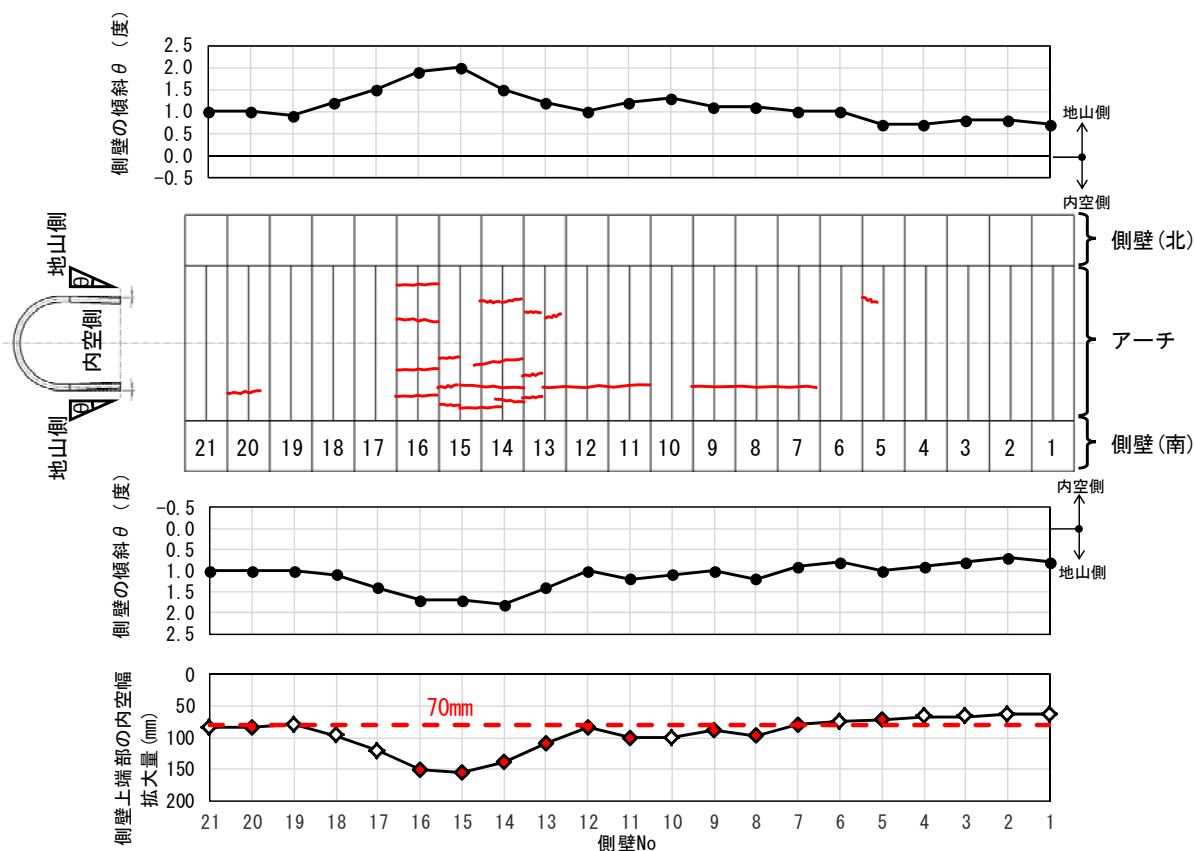


図 4.2.4 アーチカルバートの変状
(亀裂展開図、側壁部の傾斜角、内空幅の開き量)

られる。

図 4.2.5 に本カルバートの推定曲げモーメント分布を示す。土被りがある程度大きい場合を考えると、地震時の鉛直土圧の増加によりクラウン部（アーチ頂部）で内側引張状態が卓越する。一方で、土被りが小さい場合、クラウン部からやや外れた位置で内側引張状態が卓越する。本カルバートの亀裂の発生状況から、初期荷重状態（常時荷重状態）としては後者であったと推測され、鉛直土圧の増加によりアーチ部材下端部が股開きのような状態になり今回のような変状に至った可能性が高いと考える。

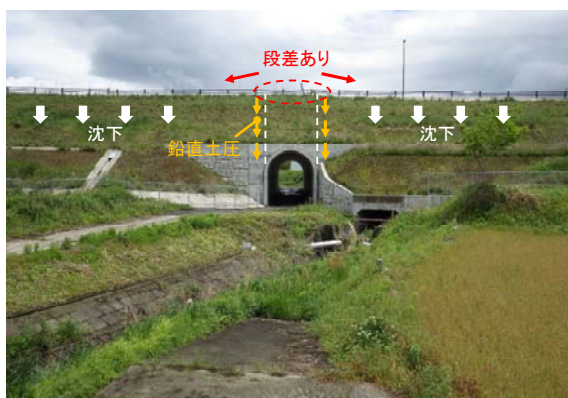


写真 4.2.5 カルバート上部盛土の状況

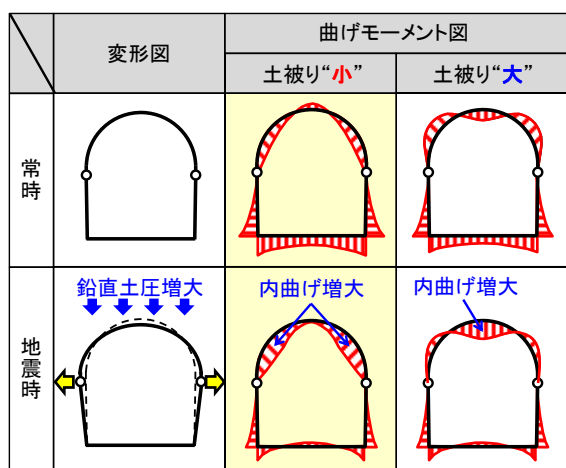


図 4.2.5 推定曲げモーメント分布

4.2.4 まとめ

今回調査した現場打ちカルバートはいずれも道路土工カルバート工指針（平成 22 年 3

月）に示される従来型カルバートの適用範囲内（内空幅 6.5m 以下、内空高 5.0m 以下、土被り 0.5～20m）にある構造物であった。一方、プレキャストアーチカルバートについては、若干ではあるがその範囲を超えたものであった（内空幅 3.0m 以下、内空高 3.2m 以下、土被り 0.5～14m）。

これらのカルバートはいずれも断層付近の強震帯に位置していたものの、損傷程度は非常に軽微なものに止まっていたことが確認された。つまり、従来型の適用範囲内であれば、常時設計のみ実施していれば、地震時の照査を省略しても良いという“みなし規定”が実証された事例であったと言える。

また、今回確認された現場打ちカルバートの被災形態はやや特殊であり、地盤条件に大きく影響を受けたものと考えられる。今後、カルバート直下地盤の調査を実施し、地盤の特性を十分検証し、被災要因が特定されることが望まれる。

プレキャストアーチカルバートについても、やや特殊な被災形態であるが、アーチ部材が股開きするようなモードにより被害が生じることが明らかとなったことから、これを抑制するような対策・設計を今後考えていく必要があるものとする。

4.3 盛土・擁壁

4.3.1 調査概要

盛土・擁壁の被害については、九州自動車道で盛土が崩壊している様子や、擁壁が完全に倒壊し横倒しになっている様子などが、ニュースでも報道されており、相当な被害が予想された。このため、報道等での情報を基に、益城町寺迫付近を中心に、被害状況の調査を行った。図 4.3.1 に調査位置を示し、以降に調査を行った主要な被害箇所について、被害概要・特徴について示す。

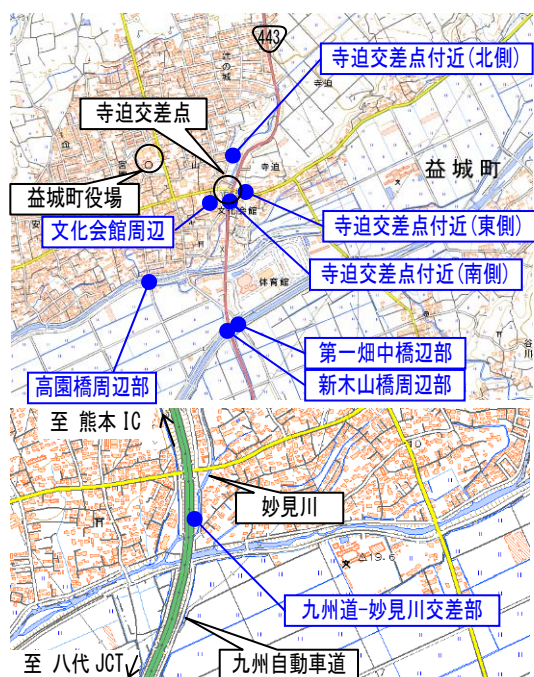


図 4.3.1 調査位置図

4.3.2 新木山橋・第一畑中橋周辺部の盛土・擁壁の被害

新木山橋・第一畑中橋の取付道路部では、大崩壊には至らないものの、盛土部及び擁壁（ブロック積み護岸）に変状が見られた。（写真 4.3.1, 4.3.2 参照）この変状に伴い橋台背面部に段差（50cm 程度）が生じ、新木山橋については、アスファルト合材にて段差処理がなされていた（写真 4.3.3 参照）。

周辺には液状化が生じたような痕跡はみられず、盛土のゆすり込み沈下、すべり破壊による沈下により段差が生じていると考えられる。

擁壁（ブロック積み護岸）については、ブロックがずれる程度の被災の箇所も見られるが、ブロックの中央部に亀裂が入りずれ落ちるような変状をしている箇所が見られた。このような被災をしている箇所は、背面土が流されてしまっている状態にあった。



写真 4.3.1 取付盛土の変状(第一畑中橋)



写真 4.3.2 ブロック積み護岸の変状(新木山橋)



写真 4.3.3 橋台背面の段差(新木山橋)

4.3.3 高園橋周辺部の擁壁被害

高園橋は、他の橋梁と同様に、取付道路部が沈下し、橋台背面部に段差が生じていた。その取付道路盛土及び堤防道路部の盛土は、ブロック積み擁壁もしくは直擁式擁壁（プレキャスト L 型擁壁）で土留めされていたが（写真 4.3.4 参照）、大きく変状しているのは、ブ

ロック積み擁壁であり、新木山橋橋詰部と同様に、ブロック積みの背面側土砂が流出していた。

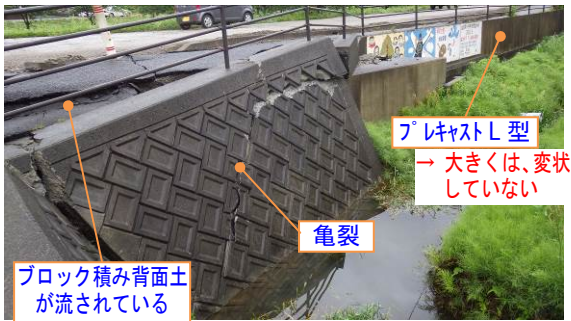


写真 4.3.4 ブロック積み護岸の変状

4.3.4 寺迫交差点付近（南側：443号線）の擁壁被害

寺迫交差点付近の擁壁が、大きく被災し、横倒しになっていた(写真 4.3.5, 4.3.6 参照)。この擁壁箇所は、大規模な倒壊を起こしているため、報道でも大きく取り扱われていたものである。

完全に横倒しになっている箇所は、ブロック積み擁壁であったが、一部大きく変状はしているが、横倒しにはなっていない箇所も見られ、その箇所は、重力式擁壁形式と推測された。



写真 4.3.5 横倒しとなったブロック積み擁壁



写真 4.3.6 重力式擁壁の変状とブロック積みの崩壊

同箇所周辺のプレキャストL型擁壁でも変状は見られた(写真 4.3.7 参照)が、ずれや変形は生じているものの、擁壁としての機能は失われておらず、ブロック積み擁壁に比べ、安定性が高い構造であると考えられる。

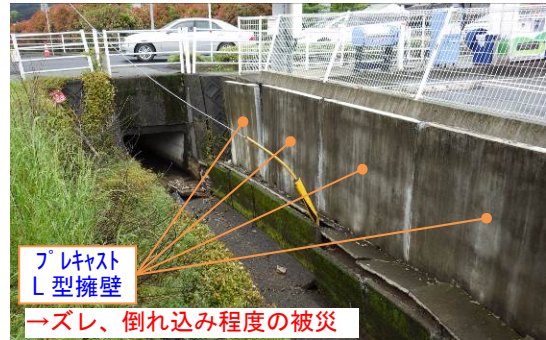


写真 4.3.7 プレキャストL型擁壁の変状

4.3.5 寺迫交差点付近（東側）の擁壁被害

寺迫交差点部の下をくぐる函渠に接続する直擁壁(現場打ち擁壁, 写真 4.3.8 参照)は、目地部にずれ(最大14cm程度)が見られ、一部亀裂も確認されたが、擁壁としての機能が完全には失われていない状態であった。



写真 4.3.8 現場打ち直擁壁の変状・損傷

一方、東側の県道沿いのブロック積み擁壁は、ブロック全体が崩れ落ちているものが多く見られた(写真 4.3.9~4.3.11 参照)。



写真 4.3.9 ブロック積擁壁の崩壊



写真 4.3.10 ブロック積擁壁の崩壊



写真 4.3.11 ブロック積擁壁の亀裂破壊

4.3.6 文化会館周辺の擁壁被害

文化会館周辺のブロック積み擁壁は、全体的に大きく変状していた。特に、中間で勾配の異なる2段擁壁の上部は、ほとんどのブロックが崩れ落ちてしまっていた(写真4.3.12参照)。ただし、完全に崩壊している箇所だけでなく、亀裂もしくは孕み出し程度で済んでいる箇所が見られた(写真4.3.13参照)。この違いが生じた原因は、現地をみただけでは、明確にはならなかった。



写真 4.3.12 ブロック積擁壁の崩壊



写真 4.3.13 崩壊・非崩壊箇所が連続する擁壁
4.3.7 寺迫交差点付近(北側)の擁壁を含む
斜面の崩壊

寺迫交差点の北側部に、擁壁を含む斜面が崩壊している箇所が見られた(写真4.3.14参照)、崩壊形態としては、いわゆる円弧状にすべり崩壊している箇所であった。当該箇所は、竹藪となっている箇所であることから、おそらく周辺からの水の供給が多くあるものと想定され、すべり破壊が生じやすかった箇所であると考えられる。



写真 4.3.14 土工部のすべり破壊

4.3.8 九州自動車道-妙見川交差部の盛土崩壊

九州自動車道の妙見川・秋津川との交差部の盛土が大きく崩れる被害が発生した。この被害も、報道にて大々的に報じられたものである(写真4.3.15参照)。

当該箇所は、両盛の盛土であるが、のり尻部を妙見川が流れている片側のみが大きく崩

れている。妙見川の護岸はブロック積み構造であり、そのブロック積みも含めて大きく崩壊しており、ブロック積みも含めた地震時の全体安定が確保できていなかった可能性が高いと考えられる(写真 4.3.16, 4.3.17 参照)。

なお、調査に行った時点では、中央分離帯部に矢板を打ち込み、崩壊していない側のとりあえずの安定を確保し、2車線暫定での供用開始をし始めるところであった。



出典) 国土地理院 HP/地理院地図(空中写真等)/4月16日撮影垂直写真/4月15日撮影斜め写真
(<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H27-kumamoto-earthquake-index.html#1>)

写真 4.3.15 すべり崩壊箇所の航空写真



写真 4.3.16 すべり崩壊箇所の現地写真(1)



写真 4.3.17 すべり崩壊箇所の現地写真(2)

4.3.10 まとめ

以上、今回調査箇所の被害概要を示したが、これらの調査結果を踏まえ、今回の盛土・擁壁の地震被害の特徴を以下にまとめる。

(1) 擁壁形式ごとの耐震性

今回の擁壁の被害状況を全体的にみると、大きく被災し、崩壊に至っている事例は、ほとんどがブロック積み擁壁であった。主にプレキャストが多かったが、片持ばり式擁壁や、現場打ちの重力式擁壁のような形式のものは、目地部のズレや倒れ込むような変状が見られるものはあったが、今回調査した地域が震度7で揺れていた地域であったにもかかわらず、擁壁としての機能を完全に失っているものは見られなかった。つまり、ブロック積み擁壁の耐震性が大きく劣ることが、はっきりしたものとと言える(図 4.3.2 参照)。

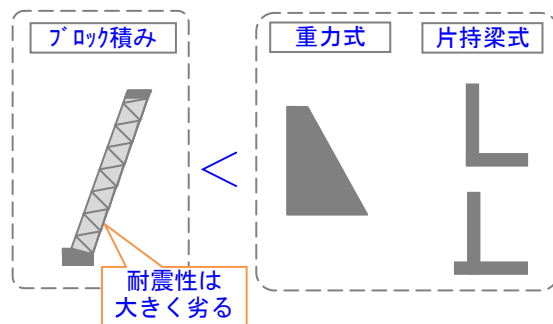


図 4.3.2 擁壁形式による耐震性の違い

この様に、ブロック積み擁壁の耐震性が低いことは、経験的な設計がなされる構造物であり、明確な構造計算で諸元が決められているものではないことを考えれば、当然であるとも考えられる。一方、重力式や片持ばり式擁壁については、今回調査したものの高さが比較的低いものであったため、耐震性が高か

ったとも考えられる。これは、「道路土工—擁壁工指針」などで、高さの低い擁壁は、常時荷重の作用状態が最も厳しい状態であるとの考え方が示されていることと対応するものとも考えられる。

(2) ブロック積み擁壁の被災パターン

ブロック積み擁壁は、足元の地盤が弱いため変状をきたしているパターンも見られたが、壁面の途中が亀裂破壊している、もしくは、亀裂破壊した後崩壊しているパターンが多く見受けられた (図 4.3.3 参照)。

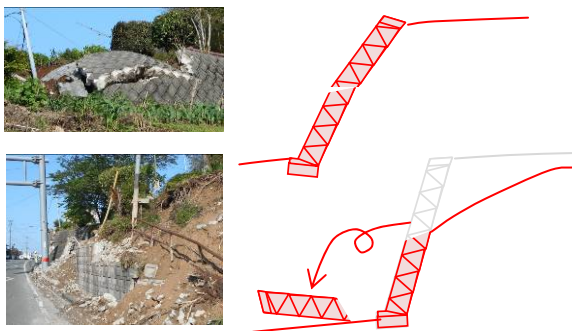


図 4.3.3 ブロック積み擁壁の被災パターン

このようなパターンの被災が発生する原因としては、あくまで推論でしかないが、下記①～③などが考えられる (図 4.3.4 参照)。

- ①常時状態：ブロック積み擁壁の特に上部付近は、裏込土側にもたれかかっている状態にあり、地山からの反力により安定しているものである。
- ②地震動作用状態：地震動により大きく揺らされたときに、裏込土が軟化しゆるみが生じたり、もしくは、ブロック躯体との剛性差により違う挙動 (揺れ) をした場合に、躯体と裏込土との間に空隙 (開き) が生じる。
- ③損傷状態：空隙が生じた状態で、ブロック積みが裏込にもたれ掛らない状態で大きな振動を受けると、無筋である躯体に亀裂が入るなどの損傷が生じる。

実際には亀裂破壊が生じた後に作用する地震力 (慣性力) により、上部のブロック積み

が転げ落ちたり、ズレ落ちたり、もしくは、上部の土砂がこぼれ出している状況となっているが、おそらく、有筋コンクリートで作られていたならば、亀裂破壊は生じづらく、このような損傷は防げたものと推察される。

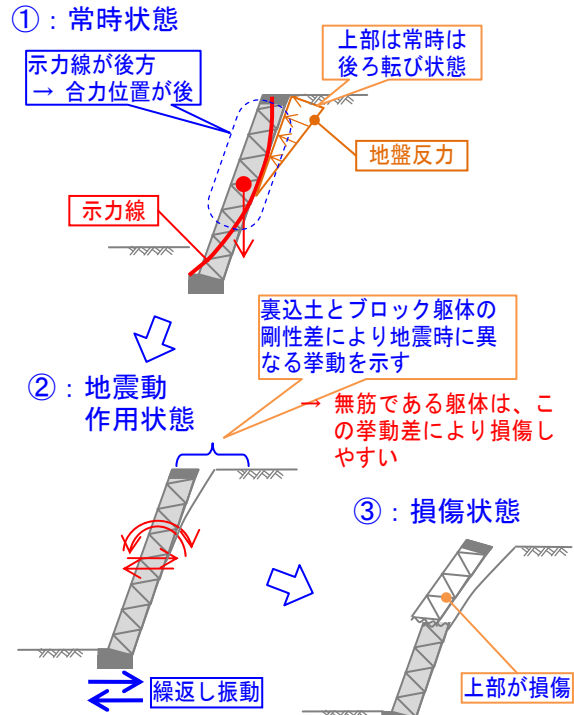


図 4.3.4 ブロック積み擁壁被災原因(推定)

(3) 盛土の耐震性について

今回の地震被害では、「盛土」の大規模な被害は、九州自動車道の事例程度で、ほとんど見られなかった。

九州自動車道の事例箇所は、地形分類図上、段丘地形に谷底平野が入り込んだ箇所となっており (図 4.3.5 参照)、周辺盛土よりも地盤がゆるく、法尻を河川が流れている側が崩壊したものと推察される。



出典) 国交省 国土政策局 国土情報課 HP

図 4.3.5 地形分類図

5. 河川構造物の被害

防災保全事業部：濱野雅裕

関西支社 防災保全部：藤田亮一・野谷正明

中国支社 防災保全部：栗林健太郎・坂部晃子

5.1 概要

河川構造物（河川堤防、水門、樋門、水路護岸）については、主に益城町周辺で幾つかの被害が見られた。しかし、被災要因やメカニズムが特定できるような詳細調査は実施していないため、本章では被害の状況を速報として報告する。

5.2 河川堤防の被害

熊本市東区、益城郡河川堤防の被害は、直轄管理だけでも菊池川、白川、緑川の3水系で合計172箇所発生した(4月29日九州地方整備局発表)。直轄河川については、特に被害の大きい箇所では緊急復旧工事がなされ、軽微な亀裂等にはセメントミルク等の充填による応急対策が実施されていたが、県管理河川についてはビニールシート等の応急対策程度に留まっていた。

写真5.2.1は、九州自動車道益城熊本空港ICの南部を東西方向に流れる秋津川の河川堤防（秋津川橋近傍より上流側を撮影）の変状である。堤体は河川側に約1m程度移動しており、河床部には堤体の変形に起因するものと思われる隆起が確認された。

5.3 水門、樋門の被害

益城町、宇土市、宇城市の水門、樋門について、合計7か所の被災状況を確認することができたが、門柱やゲートについてはほぼ全ての施設で大きな損傷は見られなかった。

写真5.3.1には、写真5.2.1にて示した秋津川河川堤防より20m程度上流側に位置する樋門の被害状況を示す。周辺の河川堤防は前述の通り大きな変状が確認されているが、樋門



写真 5.2.1 秋津川堤防の被害状況



写真 5.3.1 秋津川堤防と樋管の段差被害

本体に目立った損傷は見られなかった。しかし、背面堤防と樋管（ボックスカルバート）との間には約20cm程度の段差が生じており、埋め戻しによる応急復旧が施されていた。

その一方で、水門本体に見られた被害の事例として、宇城市三角町の松合水門の被害状況を写真5.3.2に示す。門柱基部に水平方向のクラックやコンクリートの浮きが確認された。当該水門は沿岸部に面する防潮水門であり、地震動作用時にゲートは開いていたと推察さ

れる。門柱は一連のラーメン構造であるが、門柱上端の隅角部には目立った損傷は見られず、ゲート本体や戸当たり部にも損傷は見られなかった。また、一般的な水門に比べて門柱高が高くゲートが大きいことや、門柱は水流方向にもラーメン構造を形成しており比較的細いRC柱であることから、水流方向の慣性力により門柱基部が損傷を受けたものと考えられる。

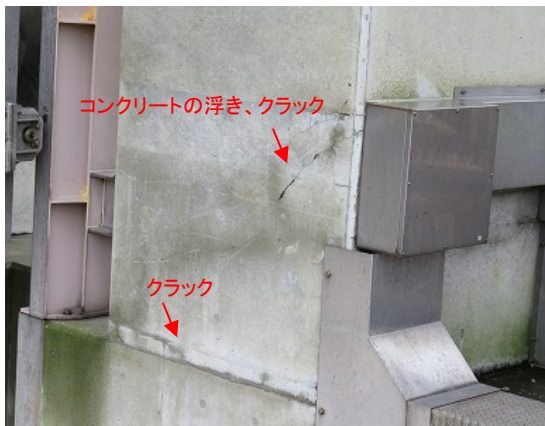
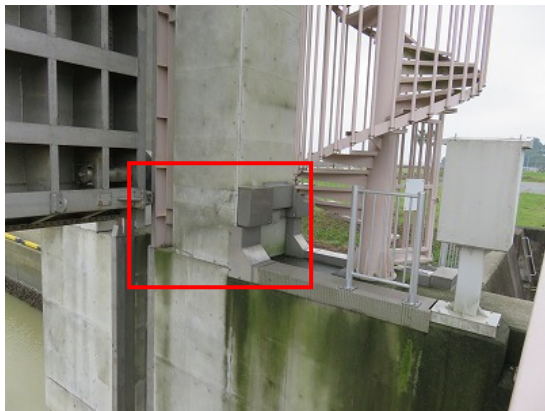


写真 5.3.2 松合樋門

5.4 水路護岸

益城町周辺では、市街地を流れる小河川および護岸のはらみ出しや倒壊が幾つか確認された。

写真 5.4.1 に益城町古閑の小河川における古い重力式護岸の崩壊状況を示す。写真 5.4.2 および写真 5.4.3 は熊本市東区沼山津の住宅街を流れる水路である。元の護岸形式が分か

らないほど崩壊している (写真 5.4.2)。やや下流は新しいコンクリート製の護岸が完成しており、擁壁部分は無被害であった (写真 5.4.3)。

沼山津や益城町の中心部にはこのような小河川 (水路) が多くあり、これらの護岸被害が住宅被害を大きくしている面もあり、復旧・復興にあたっては、水路の地下化等の考慮が必要であると考えられる。



写真 5.4.1 重力式護岸の倒壊



写真 5.4.2 重力式護岸の倒壊



写真 5.4.3 下流側水路擁壁

6. 港湾・海岸施設の被害

関西支社 防災保全部：藤田亮一

中国支社 防災保全部：栗林健太郎・坂部晃子

6.1 概要

熊本県の三角港および熊本港の被害状況を平成28年4月29日午後に確認した。本章では各施設の被害状況を概観する。各港の概要は以下のとおりである。

(1) 三角港

港格：重要港湾
 所在地：宇城市三角町
 港湾区域：約1,060ha
 臨港地区：約25.9ha

(2) 熊本港

港格：重要港湾
 所在地：熊本市西区
 港湾区域：約1,933ha
 臨港地区：約52.19ha

6.2 岸壁

三角港のフェリーターミナル（東港）の岸壁の状況を写真に示す。岸壁の前面が海側に移動し、目地が開いて段差が生じ、背面が沈下している。このような変状は地震時の岸壁の変状としては典型的なものであり、液状化によって地盤が緩むとともに、背面からの土圧によって岸壁が海側に押されて傾いたものと考えられる。周辺には数多くの噴砂の痕跡があり、広範囲で液状化が生じたと考えられるが、表面のタイルに若干の不陸が生じている程度であり、運搬車両の走行等、港の機能保持という観点から見ると大きな被害は生じなかったといえる。三角港は布田川断層帯に近い位置にあるが、大きな震動を引き起こした震源からは離れていたことも被害が軽微な原因の一つかもしれない。



写真 6.2.1 三角港の岸壁の状況



写真 6.2.2 岸壁背面の噴砂痕



写真 6.2.3 岸壁背面の不陸

6.3 栈橋（可動橋）

三角港のフェリー乗り場に渡るための栈橋に変状が生じていた。同橋の概要は以下のとおりである。

橋名：三角港(際崎)栈橋

竣工：1993年12月

基準：道路橋示方書（平成2年版）

栈橋の支承部（陸側）に変状が見られた。本橋は可動橋であるため、橋軸直角方向に回転できるようにになっているが、可動域を越えて回転し、圧縮側では桁端の岸壁のコンクリートに衝突して端部が曲がっていた。支承の移動痕が比較的新しいことから、地震に関連した損傷であると思われるが、詳細は不明である。



写真 6.3.1 桁端の衝突

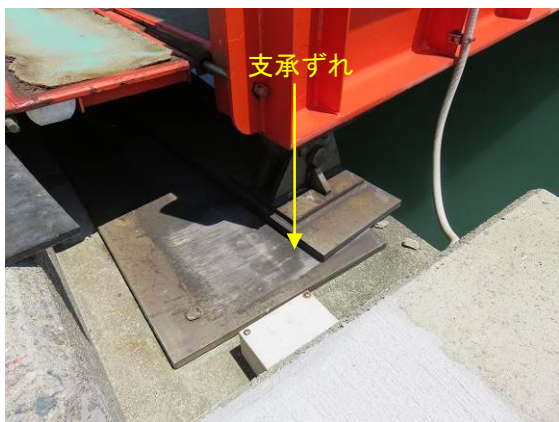


写真 6.3.2 支承の海側への移動

6.4 ガントリークレーン

熊本港のガントリークレーンは外観に目立った変状は無かったが、土木学会の速報(平成28年4月27日)によると長さ40cmほどの部材が落下していたようである。ガントリークレーンのレール周辺にひび割れが生じており、レール基礎と周辺のアスファルトの間に数センチの段差が生じていた。このためか、クレーンは使用をとりやめているようであり、クレーンを支持する車輪とレールの状況を詳細に点検している様子であった。



写真 6.4.1 クレーン周辺の割れ



写真 6.4.2 レール基礎の沈下

7. 水道・水利施設の被害

防災保全事業部：濱野雅裕

関西支社 防災保全部：藤田亮一・野谷正明・藤本哲生・仲村賢人

中国支社 防災保全部：黒田修一・永田武冬・栗林健太郎・千野駿也・坂部晃子

7.1 上水道

7.1.1 概要

平成28年4月28日にいくつかの異なる形式の水管橋の被害状況を確認した。

7.1.2 益城町内の水管橋（単径間独立水管橋）

益城町内の酒場橋に隣接する単径間のパイプビーム水管橋に変状が見られた。ドレッサー型の伸縮継手の部分で管が橋軸直角方向にずれを生じていた。ボルトが緩んで継手を構成する部品がばらばらになっていることから、被害のメカニズムとしては、①震動によって継手のボルトが緩んで継手が管を拘束できなくなり、②橋軸直角方向の震動で継手部に相対変位が生じることで継手の緩みが進行し、③継手が橋台方向に移動することで管が一部抜け出し、④震動によって継手が抜け出した管に食い込んだ、のではないかと推測される。このタイプの継手は管の呑み込み量が小さく、地震時の移動に対して追従性が低いため、大きな変位を吸収できなかったものと考えられる。



写真 7.1.2 管のずれ



写真 7.1.3 継手の損傷状況



写真 7.1.1 水管橋全景

7.1.3 熊本市内の水管橋（多径間独立水管橋）

熊本市内の上沼山津橋に隣接する3径間のパイプビーム水管橋に変状が見られた。リングサポートを支持する支承の台座コンクリートが割れて大きく欠損しており、支承を固定するアンカーボルトにも浮きや変形が認められた。一部の支承ではボルトが破断しており、上沓がずれていた。リングサポートは2枚補剛のタイプ（橋軸方向に2枚の板を配置している）であるため、補剛板が1枚のものに比

べて剛性が高く、耐震性も高い。しかしながら、支承および支承を固定するボルトの剛性が相対的に弱くなるため、そちらに弱点が集中することとなる。本橋の被害はまさにその状態であるといえ、リングサポートから上の部分には目立った損傷は認められないが、支承ボルトが破断してずれを生じている。



写真 7.1.4 水管橋全景



写真 7.1.5 台座コンクリートの破損



写真 7.1.6 ボルトの破断と支承のずれ

7.1.4 新世安橋の添架管

熊本市の新世安橋にかかる添架管では、その一本の継手部から漏水を生じていた。一般的な継手は、継手と管の間に挿入した止水材（ゴム）をリング状の部品で締めるような構造になっているが、継手と管の相対変位や相対回転角が大きくなると、止水性を確保することができなくなり、継手と管の間から漏水を生じる。特に、古いタイプの継手では回転変位に対する追随性がほとんどないため、地震時に漏水を生じやすい。しかしながら、継手の緩みによる漏水であれば、リングを固定しているボルトを再度締め付けることで漏水を防ぐことができるため、致命的な損傷ではないといえる。



写真 7.1.7 添架管の漏水 (1)



写真 7.1.8 添架管の漏水 (2)

7.2 下水道

7.2.1 概要

平成28年4月29日に熊本市、益城町の下水道管路施設の被害状況を確認した。

主な被害は、マンホールの浮上りや、管路部周辺の舗装の陥没であった。主要道路の被害箇所は既に(29日時点)応急復旧を施されていた。

次項よりマンホールを中心に、下水道施設の被災状況を示す。



写真 7.2.2 マンホールの浮上(2)

7.2.2 益城町内のマンホール浮上

避難所となっていた益城町総合体育館の敷地内でマンホールの浮上りを確認した。浮上りは最大で40cm程度であった(写真7.2.1～7.2.2)。

マンホール周辺の埋戻し土が地震により液状化し、マンホール下部に回り込んだことにより、浮上りが発生したと考えられる。

マンホール内部を確認したところ、躯体の損傷やズレは見られなかった(写真7.2.3)。中床版により底部までは目視出来なかったが、水の流れる音がしていた。避難所は断水中であるため、管とマンホールの継手部等から地下水が浸入したものと推測される。



写真 7.2.3 浮上したマンホール内部(1)



写真 7.2.1 マンホールの浮上(1)

7.2.3 益城町内の管路被害

益城町の町民グラウンド周辺では幹線管路に沿って直上の地盤で路面沈下が発生していた(写真7.2.4～7.2.5)。

開削工法で施工した掘削部で埋戻し土の液状化により沈下したと考えられる。液状化の生じた埋戻し土が厚かったため沈下量も大きくなり、道路陥没に至ったと推測される。

また、マンホール内に水が滞留し、流下機能は停止していた。これは管きよの浮上りによって拔出しが発生した箇所から土砂が浸入し、管内に堆積したことで閉塞したものと考えられる(写真7.2.6)。



写真 7.2.4 開削部の道路陥没 (1)



写真 7.2.5 開削部の道路陥没 (2)



写真 7.2.6 マンホール内部

7.2.3 木山地区の下水道施設被害

益城町木山地内においてマンホールの浮上や、それが原因と思われる周辺舗装の亀裂や陥没が随所で確認できた(写真 7.2.7)。

浮上りの程度は小さく、舗装の亀裂を中心とした軽度な被害であった。マンホール周辺の埋戻し土が地震によって液状化して、マンホールが浮上り、周辺の舗装を押し上げたものと考えられる。

宅地造成部の側方流動によって周辺の地盤が流出し、埋設していた柵や配管が露出しているのが見られた。管路の変形は大きくないことから、排水機能の被害は無いが、もしくは軽微なものと推測される(写真 7.2.8～7.2.9)。



写真 7.2.7 マンホール及び周辺舗装の被害



写真 7.2.8 露出した宅内配管



写真 7.2.9 露出した宅内柵

浮上が発生したマンホールの内部を確認したところ、躯体の損傷やズレは見られなかった(写真 7.2.10)。益城町内が断水中であったため通水状況を確認することが出来なかったが、浸入水は確認されなかったため、管路の抜け出しは生じていないものと推測される。



写真 7.2.10 浮上したマンホール内部(2)

7.2.5 熊本市内の下水道施設被害

熊本市内ではマンホール周辺の舗装の補修跡が多く見られた(写真 7.2.11)。マンホールの浮上によって舗装に段差や亀裂が発生したと考えられる。

白川堤防沿いにある管路施設の耐震診断を行っており、その結果と照合すると、マンホール部で「浮上しない」結果の箇所では舗装の亀裂等の軽度な被害を確認した(写真 7.2.12)。地震の大きさや地下水位等の状況が、想定と違うことが影響しているものと考えられる。



写真 7.2.11 舗装の復旧跡

白川河口付近等では、マンホールを含む周囲の路面が隆起している現象が確認できた(写真 7.2.13)。原因としては、河口付近は地下水位が高く、周辺地盤が液状化したことによって鋼製ケーシングと周辺地盤との周面摩擦が低下したため、マンホールと一体化している立坑が浮上したものと考えられる。



写真 7.2.12 浮上診断マンホールの舗装亀裂



写真 7.2.13 立坑浮上(復旧済み)

7.3 ため池

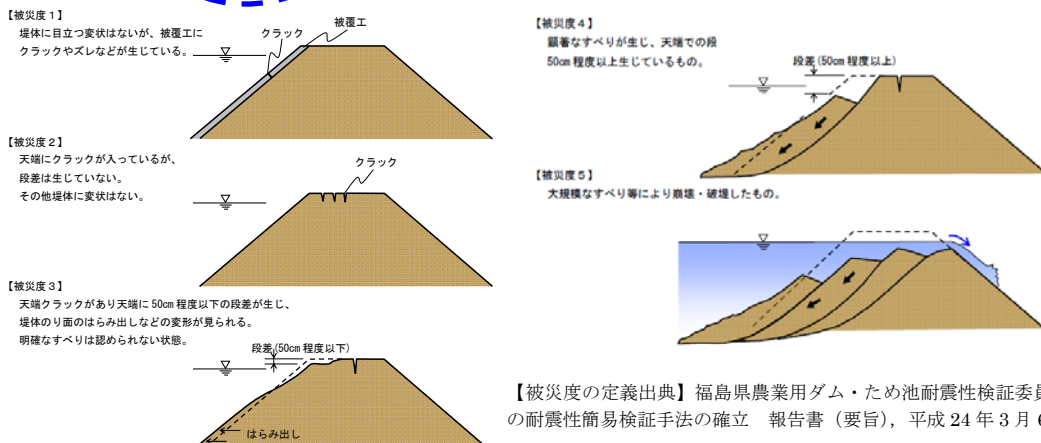
7.3.1 調査概要

ため池の調査は、4月16日に大切畑ダム、4月25～26日にその他のため池について実施した。調査地点を図7.3.1に示す。布田川断層帯及び日奈久断層帯周辺に存在するものを選定した。

被害の程度は大小様々であったが、周辺に家屋等の倒壊が見られるような大きな地震動

が作用したと推測される地区のため池は総じて被害が大きい傾向にあった。また、独立したため池より重ねため池（上下流に2連以上のため池が連なるもの）の仕切り堤となっている堤体には特に大きな被害が発生しているものがあつた。

本節では調査を実施したもの内、被害が比較的大きいため池について報告する。



【被災度の定義出典】 福島県農業用ダム・ため池耐震性検証委員会：農業用ダム・ため池の耐震性簡易検証手法の確立 報告書(要旨), 平成24年3月6日

図 7.3.1 ため池調査地点と被災度

7.3.2 大切畑ダム

大切畑ダムは堤高 23m の農業用のアースフィルダムであり、堤頂部は道路(県道および旧道)として利用されている。また、取水・放流設備として側水路型洪水吐と多孔式取水設備(斜樋)を有している。地震直後の報道によれば、大切畑ダムは決壊の恐れがあるとして近隣住民に避難指示が出されていた。

写真 7.3.1 に、ダム上流面および堤頂部の被害状況写真を示す。上流面は貯水よりも上方のみを調査したが、その範囲には法面の孕みやクラック等の損傷はみられなかった。一方、堤頂部は旧道側の路面にダム軸および上下流方向のクラックが多数みられたほか、後述する洪水吐流入部の側壁が前面へ傾斜したことによりその背面の路面に沈下がみられた。なお、下流面は上流面と同様に損傷はみられなかった。



写真 7.3.1 上流面及び堤頂部の被害状況

写真 7.3.2 に、堤体右岸側に位置する洪水吐の被害状況写真を示す。洪水吐は越流部に損傷は見られないが流入部の側壁が前面へ傾斜していたほか、下流水路の右岸側斜面に表層崩壊が発生していたことから崩土が水路内に堆積しているものと考えられる。



(a)上流面(損傷無し)



(a)流入部左岸側壁



(b)堤頂部(旧道側)



(b)下流右岸斜面

写真 7.3.2 洪水吐きの被害状況

写真 7.3.3 に、ダム上流左岸側に位置する斜樋の被害状況写真を示す。斜樋の取水ゲートは操作室内部の開閉装置により操作を行う構造であるが、操作室が背面側へ傾斜したことにより全 6 門のスピンドルが強制的に引き上げられた状態となっていた。これにより、斜樋から制御できない貯水の流出が生じ、ダムの貯水機能が失われていた。

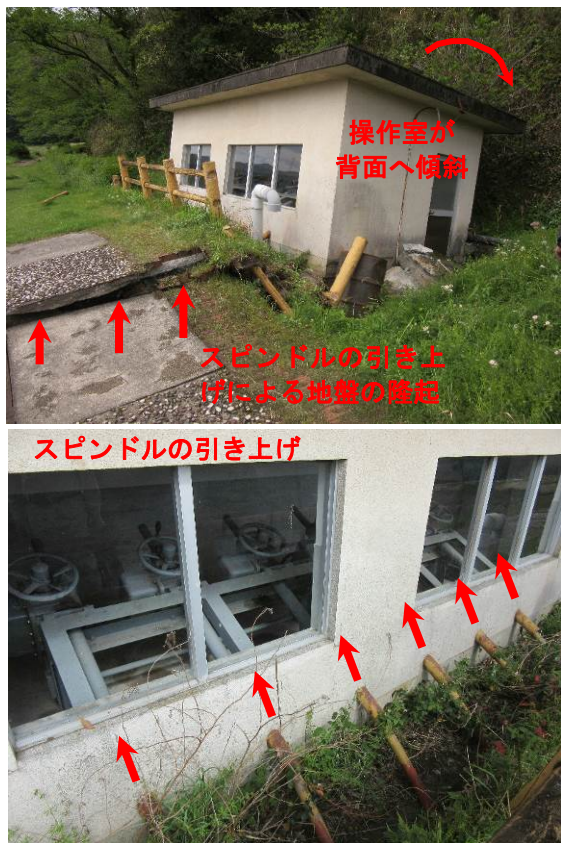


写真 7.3.3 斜樋の被害状況

写真 7.3.4 に、斜樋の下流に位置する分水工(調整池)の被害状況を示す。調整池は上流側から制御されていない貯水が入り、それによりオーバーフローし、それにより送水管が埋設された隣接の道路盛土法面が崩壊していた。また、送水管が破壊したことにより調整池からの貯水は下流側へ流出し、火山灰質粘性土の斜面を浸食しながら下流河川に流入していた。



写真 7.3.4 下流分水工(調整池)の被害状況

7.3.3 下小森地区

下小森地区のため池は堤高 4m 程度の皿池であり、写真 7.3.5 に示すように地震により堤体を横断する亀裂が入り、パイピングにより堤体が洗掘され破堤に至ったものと思われる。破堤した断面を見ると、刃金土とさや土が区別されているようで、前刃金形式のため池と考えられる。

また、破堤した堤体に生じた亀裂は、ため池の隅角部付近に存在し、隅角部の被害はこれまでの被害地震でも確認しており、隅角部では複雑な振動が生じ、被害が生じやすい可能性がある。

ため池の周辺は段々畑となっており、畑の法面が至るところで滑落していたことから、強い地震力が作用したものと考えられる。なお、上流側にも一回り大きなため池が存在する重ねため池となっているが、こちらにも被害はあるものの、破堤には至っていない。



写真 7.3.5 下小森地区ため池の被害状況

7.3.4 城南町陳内地区

この地区のため池は堤高 6~7m の重ねため池である。写真 7.3.6 に示すように、最下流の堤体は上流側法面にすべりが発生し、天端全体にも大きな亀裂が生じていた。一方上流側に存在する仕切り堤では、上流側法面のすべりとともに 2m 程度の沈下が生じており、破堤寸前の状況となっていた。

また、最下流の堤体の背後には盛土造成された宅地が存在し、こちらにも表面に大きな亀裂が生じており、住宅もやや傾きが生じているように見えた。

この付近の沿道建物も倒壊に至るものが散見され、地震動そのものが大きかったことが予想される。

7.3.5 鏡ヶ下池

鏡ヶ下池は、堤高 10m 程度の比較的規模の大きなため池である。写真 7.3.7 に示すように、堤体天端全体に亀裂と段差が生じており、堤体中央付近で変位観測が行われていた。下流側法面の法尻付近が緩く湿った状態であり、漏水も認められたが、状態は古く、今回の地震によるものではないと考えられる。

7.3.6 六ツ枝溜池

六つ枝溜池は、堤高 6~7m 程度のため池で、堤体は県道 239 号の盛土部となっている。この道路盛土はため池側が腹付盛土となっており、この部分に被害が生じた。写真 7.3.8 に示すように、道路のため池側の路面に亀裂と最大 50cm 程度の沈下が生じており、法面にも堤軸方向に亀裂が生じ、すべりが認められた。この法面の変状により、取水工開閉用のスピンドルに座屈が生じていた。



写真 7.3.6 陳内地区ため池の被害状況

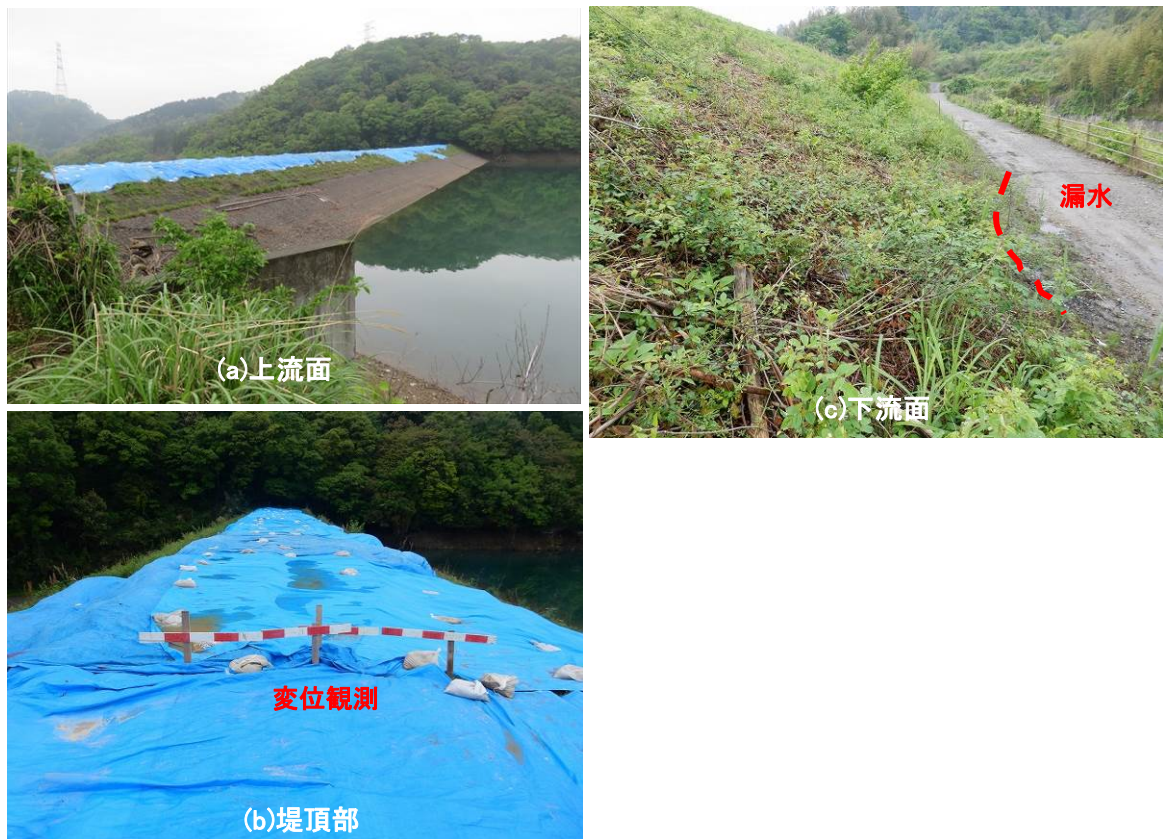


写真 7.3.7 鏡ヶ下池の被害状況



(a)上流面



(b)堤頂部(道路)



(c)取水工

写真 7.3.8 六ツ枝ため池の被害状況

7.3.7 城南町藤山地区 (道路盛土)

藤山地区は、ため池の被害というよりもため池が隣接する道路盛土に被害が生じていたものである。写真 7.3.9 に示すように歩道部に大きな亀裂が生じており、向かって右側に存在するため池に向かってすべりが生じていた。道路線形にも不陸と蛇行が認められ、この付近の道路盛土全体が変状しているようであるが、噴砂などの液状化の痕跡は見られなかった。



(a)盛土路肩



(b)道路盛土

写真 7.3.9 藤山地区の道路盛土の被害状況

8. その他の構造物の被害

災害リスク研究センター：末富岩雄・福島康宏
 関西支社 防災保全部：藤田亮一
 中国支社 防災保全部：栗林健太郎・坂部晃子

8.1. 建物

8.1.1 概要

当社は建築構造を専門としているわけではないが、ライフラインなど施設被害と地盤災害との関連を考えたり、地震動の特性を考えたりする上で建物被害も参考になる点が多い。いくつかの地域で建物被害の概略も調査したので、以下に地域ごとに特徴を記す。

8.1.2 西原村 大切畑ダム周辺住宅地

4月16日の大切畑ダムの調査の際に、周辺の西原村大切畑地区および風当地区の状況を確認した。大切畑地区はほぼ全ての家屋が半壊もしくは全壊に至っていた。集落の周辺では、大規模な基礎地盤の変状や擁壁の倒壊が多く見られた。



写真 8.1.1 大切畑地区全景



写真 8.1.2 家屋擁壁の倒壊

8.1.3 益城町

辻の城付近では、4月15日の航空写真を見ると、既に擁壁は崩れており、幹線道路脇の住宅は被災している。少し南の南側へ擁壁が崩れた比較的新しい住宅のところは16日の地震での被害と考えられる。この地区は、宅地被害がもたらした被害が主体のようである。

町役場より南の県道28号と秋津川の間が特に被害が激しい(図8.1.1)。①県道28号沿い、②益城町木山交差点から秋津川へ下っていく道路、③川より一筋北の標高が低い道路、④公民館付近、の4つのエリアに分けて考察する。

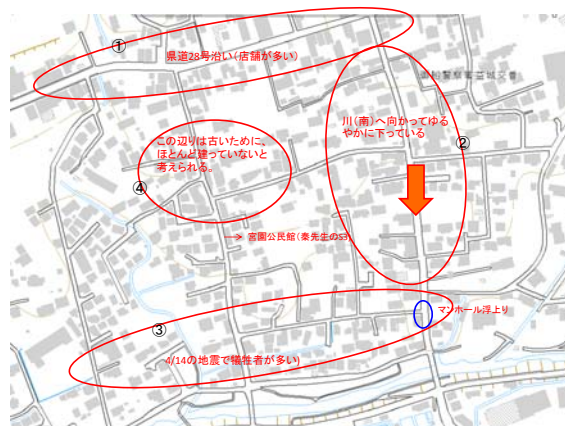


図 8.1.1 益城町中心部

①の県道沿いは店舗が多く、非木造であっても、開口部が大きいことで倒壊したケースが多いと考えられる。

②では、古い住宅が揺れにより全壊したケースが多い。道路にクラックが多く見られ、少し下方に滑ったことで、大きく傾いたと考えられる事例も見受けられた。

③の辺りは、標高が低く、河川背後でもあ

り、地下水位が最も浅い地盤の弱いところであったと推察される。マンホールの浮き上がり、砂利入れなどによる道路の補修跡からは液状化の発生が推察されるが、明白な痕跡は見られなかったため、埋設管工事で若干の砂は投入しつつも主体は粘性土地盤の変形・滑りであると考えられる。

14日の地震での犠牲者の多くは、この辺りでの被害である。16日の際は、避難所等に避難して難を逃れたものと思われる。

④公民館から北の辺りの一帯は、まともに建っている建物がほとんどない状況で特に被害が顕著であった。秦らがここで4/16の地震の際に役場の震度より大きな揺れを観測している。ただし、古い住宅が特に密集していたためとも考えられ、今後の分析が必要である。



写真 8.1.3 ②の秋津川へ降りていく途中 (4/26)



写真 8.1.4 マンホールの浮き上がり (4/26)

8.1.4 熊本市刈草付近

液状化が広範囲で見られ、建物が傾いたり、電柱が沈んだり、などの被害が見られた。

写真 8.1.5 は建物が傾いた 2 件である。噴砂の跡や大きな地割れが見られたことから、液状化の影響で傾いたと考えられる。

県道沿いでは、電柱の多くで周りから砂が噴き出し沈下しており、地割れや塀の傾斜などが多く見られた。地盤工学会の調査で、白川から加勢川へとつながる旧河道が存在した可能性が高いと指摘されており、そのように考えると、県道沿いで特に液状化が顕著であったことをよく説明できると考えられる。1947年の航空写真では、県道は今と同じ箇所であり、小河川が近くを流れているようである。今後、詳しい調査が必要と考えられる。



写真 8.1.5 液状化による住宅被害 (4/25)

8.1.5 熊本市沼山津付近

熊本市内で最も多くの住宅被害が集中していたと思われる。道路にクラックや補修跡が多く見られた。ただし、噴砂の跡と思われるほ

どのものは見当たらなかった。古い建物の被害である。1975年の航空写真を見ると、農地は残っているが既に多くの住宅が建っている。

写真 8.1.6 上段は国道沿いでの段差である。国道の南側で多くの被害が見られる。

RC造のマンションでも顕著な被害が見られた。1991年築の9階建てマンションは、雑壁とはいえ、大きく損傷しており、出入口等が塞がれた。別のマンションでも、周辺地盤が大きく沈下し、棟を結ぶ通路に段差が生じた。



写真 8.1.6 沼山津での被害状況(4/25)

8.1.6 嘉島町鯉付近

古い木造住宅の被害が見られ、2名が亡く

なられている。また近くでは液状化による電柱の傾斜等が見られた。



写真 8.1.7 嘉島町鯉での被害(4/16)

8.1.7 熊本市秋津

秋津レークタウンは昭和60年に県知事の開発許可を得て、昭和63年に開発工事が完了した、居住専用の団地である。1975年の航空写真では、一帯は農地である。

レークとは、江津湖を指す。江津湖は長さ2.5km、周囲6kmで湖水面の面積は約50haでひょうたん型をしている。市街地にありながら、1日約40万トンの湧水が湧き出る。弥生時代以降、一帯は水田として利用されていたが、加藤清正が江津塘が構築し、この堤防によって西南方向に流れていた湧水がせき止められ湖となった。清正が普請をした理由は治水、水田開発、島津への備え、といわれている。その後も堤防はたびたび損傷を受けてきたが、その度に修復して守ってきた。

交差点の周りで噴砂が見られたが、住宅地内では特段の地盤変状は見られなかった。ここは、埋設管の工事の際の埋戻し土が液状化した類のことかと推察される。宅地開発から40年程度とそれほど古くはないので、大きな住宅被害も見受けられなかった。

近くの矢形橋、真島橋では取付け部で段差が見られた。この川に挟まれた住宅地では、液状化による建物の傾斜等が見られた。

8.1.8 宇土市役所

宇土市役所は**写真 8.1.8** に示すように大き

な被害を受け、立ち入り禁止となり、他の施設で業務を行っている。敷地内に防災科研のK-NETが設置されており、震度6強(計測震度6.2)の大きな揺れが観測されている。

1965年頃築で耐震補強の必要性は認識されながらも、なかなか実施に至らなかったものである。



写真 8.1.8 宇土市役所(4/16)

8.2. 神社・寺院

8.2.1 概要

今回の地震では、鳥居や燈籠、社の柱など、神社や寺院内の建造物の損傷が目立った。

本調査では、以下の神社及び寺院の被害状況を確認した。

- (1) 熊本市 妙永寺
- (2) 熊本市 下馬神社
- (3) 益城町 権現神社
- (4) 益城町 木山神宮
- (5) 宇土市 金刀比羅宮
- (6) 宇城市 寄田神社

8.2.2 熊本市 妙永寺

平成28年4月16日に被害を確認した。妙永寺は新幹線熊本駅の北部にある大きな寺院である。寺の本堂は屋根瓦が被害を受けている以外は大きな損傷は見えなかったが、門の屋根が落下していた。灯籠も倒壊していた。

寺に隣接する墓地では墓石や壁の倒壊が多く見られた。



写真 8.2.1 門の屋根の落下



写真 8.2.2 本堂の屋根および燈籠の被害



写真 8.2.3 墓石の倒壊

8.2.3 熊本市 下馬神社

平成28年4月16日に被害を確認した。下馬神社は妙永寺の南側、新幹線高架橋の西側にある小さな神社である。鳥居が道路側に倒れて割れており、道路の一部をふさいでいた。

鳥居以外には大きな損傷は無いように見えた。



写真 8.2.4 鳥居の倒壊

8.2.4 益城町 権現神社

平成 28 年 4 月 28 日に被害を確認した。権現神社は益城町馬水の鉄砂川沿いにある小さな神社であり、鉄砂川周辺は広域に渡る護岸の倒壊や家屋の倒壊が見られた箇所である。

鳥居の笠木および島木の部分が落下し、燈籠は片方のみ倒壊していた。



写真 8.2.5 鳥居(笠木・島木)の倒壊



写真 8.2.6 燈籠の倒壊

8.2.5 益城町 木山神宮

平成 28 年 4 月 28 日に被害を確認した。木山神宮は益城町の中心部である益城町総合体育館の北西に位置する神社である。鳥居及び社が完全に倒壊しており、内部の状況は確認できなかった。



写真 8.2.7 社および鳥居の倒壊

8.2.6 宇土市 金刀比羅宮

平成 28 年 4 月 29 日に被害を確認した。金刀比羅宮は宇土市役所からやや南方に位置する小さな神社である。益城町の権現神社に被害の状況は類似しており、鳥居の笠木および島木の部分が落下し、燈籠の倒壊が確認された。



写真 8.2.8 鳥居・燈籠の倒壊



写真 8.2.11 柱のずれ (写真右)

8.2.7 宇城市 寄田神社

4月29日に被害を確認した。寄田神社は松橋高校の南側に位置する神社である。鳥居の笠木および島木の部分が落下し、燈籠は片方のみ倒壊していた。また、社の柱も片方に約5cm程度のずれが確認された。



写真 8.2.9 鳥居(笠木・島木)の倒壊



写真 8.2.10 燈籠の倒壊 (写真左)

8.3 公園

8.3.1 概要

公園の被害状況について、以下の地点を確認した。

- (1) 益城町 益城町民グラウンド
- (2) 宇城市 観音山総合運動公園

8.3.2 益城町 益城町民グラウンド

4月28日に被害を確認した。益城町総合体育館の西側に位置し、グラウンドの側を秋津川が流れる。

グラウンド内の照明柱の大半が根元から倒壊していた。また、公園内に有る土俵の東屋の柱の基部の変形により、排水管のずれが確認された。



写真 8.3.1 照明柱の倒壊



写真 8.3.2 東屋の柱基部排水孔のずれ

8.3.3 宇城市 観音山総合運動公園

4月29日に被害を確認した。すぐそばを通る九州自動車道には目立った変状は見られなかったが、公園内は噴砂やそれに伴う地盤の変状や擁壁の開きが確認された。



写真 8.3.3 擁壁の開き (10cm 程度)



写真 8.3.4 公園内の噴砂痕

8.4 鉄道

8.4.1 概要

鉄道については、調査箇所周辺では大きな被害は確認できなかったが、宇城市小川町の鉄道盛土を横断するレンガ積みアーチカルバートに一部損傷と、天端盛土のはらみ出しが確認された。

8.4.2 鹿児島本線橋梁 (宇城市小川町)

鹿児島本線の砂川右岸側に位置するレンガ積みアーチカルバートおよびボックスカルバートに被害が確認できた。

(1) レンガ積みアーチカルバート

外部のレンガに一部損傷が見られたが、内部のレンガには目立った損傷は見られなかった。また、路面に段差やひび割れが確認できた。



写真 8.4.1 レンガの剥落



写真 8.4.2 路面のひびわれ



写真 8.4.3 路面の段差

(2) ボックスカルバート

レンガ積みカルバートの上流側に連結している。

ボックスカルバート上の盛土がはらみ出ししており、梁ブロックに一部ずれが見られた。また、ウイング端と擁壁部の間に開きが生じ、補修された痕跡が確認された。



写真 8.4.4 上部盛土のはらみ出し

9. 都市の被害

九州支社 都市・環境・エネルギー部：白鳥寛・吉岡伸也・石倉捷

9.1 建物被害エリアの道路状況

9.1.1 目的

都市において道路は、通行、日照、通風、採光等の機能を有している。建物被害エリアの道路幅員から、避難時の通行状況を考察した。

調査対象エリア：益城町、西原村、熊本市
調査日：平成28年5月11日（水）

9.1.2 建物被害状況

(1) 益城町

益城町内中心市街地のうち、布田川断層帯に近い県道28号および県道235号周辺に建物被害が集中していた。耐震基準に適合している建物にも被害があったと推測される。



写真 9.1.1 益城町の建物被害



写真 9.1.2 新しい建物の被害

(2) 西原村

村内に集落が点在しており、築年次の古い建物が多く、調査の車上からみた範囲では、ほとんどの建物に被害がみられた。



写真 9.1.3 西原村の建物被害



写真 9.1.4 西原村の建物被害

(3) 熊本市

熊本市内は、外観からみた範囲では、益城町、西原村と比較して被害の大きい建物は少ない。1階がピロティとなっている建物が座屈していた。



写真 9.1.5 熊本市の建物被害



写真 9.1.6 細街路 (幅員 4 m)

9.1.3 益城町内の道路状況

震災後 25 日経過しており、県道、幹線町道は道路舗装復旧、がれき撤去が進み、通行が可能であるが、細街路には通行できない区間が残っている。

建物被害エリアでは、建物が崩れかけているところに、コーンを置き規制をかけている。また、被災した建物ががれきを道路端に積み上げることによって、車両が通れるスペースを確保している。

震災直後においては、幅員 4m 程度の道路では、建物が倒壊すれば道路が閉塞され、車だけでなく徒歩による避難の支障にもなる。また、幅員 6m 程度の道路であれば、倒壊する建物規模や道路被害状況にもよるが、人の通行は可能と思われる。



写真 9.1.7 細街路上の建物 (幅員 4 m)



写真 9.1.8 市街地幹線道路 (幅員 6.5m)



図 9.1.1 4月26日時点での道路通行状況

9.2 避難所について

9.2.1 目的

避難所の利用状況、施設の配置状況を調査し、避難所のあり方を考察する。

調査対象: 益城町エミナース、総合体育館、西原村役場

調査日: 平成 28 年 5 月 11 日 (水)

※総合体育館避難者数 1313 人 (5 月 10 日)



図 9.2.1 避難所位置図



写真 9.2.2 仮設トイレ (総合体育館)

9.2.2 避難所において設置されている施設

避難所の周辺には、物品保管スペース、仮設トイレ、炊き出しスペース、給水所がある。また、震災後日数が経ていることから、物品支給窓口、日本赤十字社医療チームテント、風呂が設置され、トイレには手洗い水がある。屋内の避難所が狭く、プライバシーの問題があることから、テントが設置されている。総合体育館のドーム型テントは、就寝スペースは外から見えないようにしており、また、就寝スペースとは別に、リビングスペースを確保している。



写真 9.2.3 炊き出しスペース (エミナース)



写真 9.2.1 物品保管スペース (西原村役場)



写真 9.2.4 炊き出しスペース (総合体育館)



写真 9.2.5 給水所 (総合体育館)



写真 9.2.6 物品支給窓口 (エミナース)



写真 9.2.10 テント (総合体育館)



写真 9.2.7 日本赤十字社医療チーム
(総合体育館)



写真 9.2.8 風呂 (総合体育館)



写真 9.2.9 手洗い水 (総合体育館)

- ・ 救援物資置場や炊き出しスペースは、埃、雨があたらないよう、舗装していることが望ましい。
- ・ 炊き出しには人が多く並ぶことから、夏の暑い日や冬の寒い日、雨天や雪などの天候が悪いときに、健康を害する恐れがある。
- ・ 炊き出しは、屋外のテントよりは、雨風が防げる建物ピロティ部分が望ましい。ピロティ部に炊き出しスペース、人の列を確保すれば、季節や天候に左右されない。
- ・ 駐車場は、ペットボトル等を置いて場所取りしており、避難所から通勤している方々が多くいる。避難所における駐車場の確保は重要である。
- ・ 自衛隊による支援では、多くの車両が配置されることから、広場や出入口の確保が必要である。



写真 9.2.11 炊き出しを待つ人の列
(総合体育館)

9.2.3 災害に備えた避難所のあり方について
避難所周辺における空間利用において、気が付いた点は以下のとおりである。



写真 9.2.12 駐車場の場所取り(総合体育館)



写真 9.2.13 自衛隊による支援車両
(西原村河原小学校)



写真 9.3.1 応急仮設住宅の建設状況
(西原村)



写真 9.3.2 応急仮設住宅の建設状況
(益城町)

9.3 応急仮設住宅の建設状況

9.3.1 目的

益城町は5月12日時点で、熊本地震で被災し避難所で生活する1,244世帯を対象に実施した意向調査の結果から、避難理由に家屋の損壊を挙げた692世帯のうち74.1%に当たる513世帯が、仮設住宅への入居を希望していることを発表し、仮設160戸を建設する計画だが、増設を検討している。

4月29日に西原村、5月6日に益城町が、応急仮設住宅の建設に着手した。どちらも完成予定は6月中旬とされており、現状での建設状況を確認した。

9.3.2 建物建設状況(5月11日時点)

西原村の仮設住宅は、基礎工事が完了し、木造建物の骨組みが出来つつある。

益城町の津森、広安町民グラウンドでは資材搬入の段階である。

9.4 災害廃棄物について

9.4.1 目的

大量の建物等の倒壊がれきや、家具等の廃棄物の処理、処分を行うための、災害廃棄物仮置場の状況を調査する。

9.4.2 災害廃棄物仮置場の状況

西原村では、村民グラウンドにて災害廃棄物の搬入を行っていた。

益城町では、これまでに仮置場にしていた場所がほぼ満杯の状況となっているため、新たに5月12日から益城町中央小学校跡地で災害廃棄物の搬入を行う予定である。



写真 9.4.1 西原村災害廃棄物仮置場



写真 9.4.2 益城町災害廃棄物仮置場

するが、エミナースでは5月1日から温泉の営業を再開、また総合体育館では、自衛隊による入浴サービスがおこなわれていることから、利用者が少なかったと思われる。



写真 9.5.1 臨時シャトルバス

9.5 臨時シャトルバスの利用状況

9.5.1 目的

避難所に滞在している人や地域住民を対象に、避難所から温浴施設、商店街を結ぶ臨時シャトルバスを運行している。利用状況を確認し、シャトルバスの有効性を確認した。

<運行ルート (5月11日現在)>

1. 総合体育館～保健福祉センター～天然温泉一休～健軍電停前 1日3本
2. エミナース～広安西小学校～広安愛児園～天然温泉一休～健軍電停前 1日3本
3. 益城中央小学校～特別養護老人ホームいこいの里～飯野小学校～天然温泉一休～健軍電停前 1日2本

9.5.2 利用状況調査結果

午後1時30分に到着する2便のシャトルバスの利用状況を確認したが、利用者はほとんどみられなかった。

3つの路線は、すべて天然温泉一休に停車



写真 9.5.2 臨時シャトルバス

9.6 熊本支店における被害状況

9.6.1 目的

当社熊本支店には、5名が勤務している。このうち3名(熊本市内居住)から、震災直後の状況、居住家屋、ライフライン等の復旧状況や、今後の震災に向けた意見等に関する調査に協力してもらった。

9.6.2 被害状況

①住宅

- ・家具や食器などが散乱した。余震に備えて避難所に避難したり、家具を固定した。

②水道

- ・一次停止したが、震災直後に浴槽へ水を貯

めてトイレ用水に利用した。

- ・水道は復旧に1～2週間時間がかかったため、ペットボトルの水が非常に貴重であった。

③ガス

- ・地震直後から停止した。復旧まで1～2週間かかったため、風呂にははいれなかった。

④電気

- ・停電は一時的であり、2～3日で復旧

⑤携帯

- ・地震直後はかかりにくかったが、翌日には復旧した。パソコンメールは直後から使用可能であった。

⑥通勤

- ・JR、バスが不通で、マイカーで対応。

⑦食糧

- ・コンビニやスーパーが閉店したため、食糧の入手ができなかった。インスタント食品で数日対応した。また、遠方に買い出しに行き、水の消費の少ない食糧を食べた。
- ・5月10日現在でも開店できない店が残っている

9.6.3 震災を経験して

①避難所に避難した方から聞いた、助かったこと、困ったこと

- ・プライバシーに関する問題、人間関係の問題。
- ・ペットを飼っている家庭が避難所に入れなかった。
- ・トイレが仮設トイレであれば、屋外であり利用しにくい。

②まちづくりにおいて実施したほうがいいと考えること

- ・地域の避難箇所の数を十分に確保しておく必要がある。
- ・定期的に避難訓練を実施、災害時の自治会の取り組みを話しておく。
- ・まちの危険個所把握も重要

③地震へ備えとして必要と考えること

- ・避難所に支援物資が届かず、不平不満が蔓延。避難所によって、救援物資や食事の内容に差があった。初動の対応について検討すべき
- ・地震と同時に家屋から飛び出す住民が多数居た。どちらが安全か普段から家庭内で話あっておく必要を感じた。昼間の地震に備えて避難場所なども話し合っておく必要がある。
- ・まさか熊本が…と思っていたので、何の備えもしていなかったが、今後は水や非常用持ち出し袋等を常備し、背の高い家具の固定等も必要。

9.6.4 結果

- ・震災直後は家具等の転倒や建物被害が小さくても、安心を求めて避難所を利用したくなる。
- ・震災直後は、食糧やトイレが不足しており行政による初動対応は十分でない。行政は、円滑な対応が可能となるよう初動対応策を明らかにすることが必要である。
- ・地震に備えて、1週間程度の食糧や非常用トイレ（水洗トイレを流す水）、燃料、懐中電灯等を常備する、家具を固定することが非常に大切である。
- ・地域による助け合いが行われるよう、日ごろから備えておくことが必要である。



写真 9.6.1 がんばろう! 熊本!

10. 阿蘇市・南阿蘇村の被害

総合企画本部：磯山龍二

災害リスク研究センター：田中努・井上雅史

10.1 はじめに

災害リスク研究センターでは4月29日に阿蘇市、南阿蘇村の一部を調査した。特に南阿蘇村河陽地区は阿蘇地方で最も被害の大きかった地区で、一連の施設ごとの被害報告とは別に、南阿蘇村、阿蘇市の被害状況を取りまとめる。

阿蘇地方では、4月14日のいわゆる前震(M6.5)では震度5弱が観測されている。それに対して、16日の本震(M7.3)では南阿蘇村河陽では震度6強が観測されており、各種報道などからも、ここで述べる被害は16日午前1:25、M7.3の地震で発生したものともみてよい。

10.2 南阿蘇村河陽地区

阿蘇の外輪山が幅約200m、長さ約650mにわたって崩壊(Google Mapで計測)、黒川を埋めつつ阿蘇大橋を押し流した。写真10.2.1に対岸から見た状況を示す。崩壊の上部では深くえぐれ、岩盤が見えている。この崩壊がこの周辺では最も大きい、黒川の溪谷に沿ってこの前後で大部分のがけが崩落している。

黒川に架かっていた阿蘇大橋は、完全に流され、あるいは埋っており、橋台の真下にかろうじて桁の一部が見えるのみである(写真10.2.3)。阿蘇大橋は、橋長約205m、幅8mの上路式トラス逆ランガー桁橋で1970年に竣工した。この被害が外輪山の大崩壊によって押しつぶされるように崩壊したのか、橋の基礎地盤が崩壊して落橋、さらに崩壊土砂で覆われたのかは現状ではわからない。



写真 10.2.1 阿蘇外輪山の崩壊(1)
(阿蘇大橋の架かっていた地点)



写真 10.2.2 阿蘇外輪山の崩壊(2)
(写真 10.2.1 上部の拡大)



写真 10.2.3 阿蘇大橋
左:橋台 右:橋台から見下ろした桁

熊本方面から来て、阿蘇大橋を渡ったところに南阿蘇村河陽という小さな集落がある。ここには東海大学の阿蘇キャンパスがあり、

学生向けのアパートやマンションが多くあった。民家に加え、学生向けの2階建てのアパートに多数の被害が発生、アパートでは学生3名が犠牲になった(写真10.2.4)。アパートの多くは比較的新しく、大部分が鉄骨構造のようであった。被害は写真に見られるようにほとんどが1階部分の崩壊であった。



写真 10.2.4 南阿蘇村河陽の被害

(主に学生向けのアパート、普通の民家の被害も大きい。)

河陽地区にはこの地区の中心を南西-北東に横切るように地震断層が現れた。この区間は活断層として認識されてはいなかったが、方向的には布田川断層の延長線上にあり、また余震分布から見ても本震(M7.3)の地震を発生させた断層が地表に現れたものと考えられる(写真10.2.5、10.2.6)。この地区の変位は右横ずれで1m弱の変位、東側が約50cm程度落ちる形であった(写真10.2.5、10.2.6)では変位はそれほどではないが、別の変位が大きい場所で計測)。



写真 10.2.5 現れた地震断層(1)



写真 10.2.6 現れた地震断層(2)

10.3 阿蘇市赤水周辺

上記の南阿蘇村河陽から北に約3km離れた阿蘇市の豊肥本線赤水駅の近くで列車が脱線していた。NHKの報道によるとこの列車は16日の深夜試験走行をしていたとのこと、枕木の痕跡から赤水駅を出て北に40~50m進行したところで断線、さらに同じくらいの距離を走行して踏切で停止した。脱線して走行した結果、レールを曲げて停止していた(写真10.3.1)。

赤水駅から西に1km程度の外輪山では写真10.3.2に示すような大崩壊が発生していた(図10.3.1参照)。Google Mapによる簡易な計測では横幅600m以上にわたって崩壊している。



**写真 10.3.1 脱線した列車
豊肥本線赤水駅付近**

(左は赤水駅側から、右は赤水駅方向を望む。
右の写真には車輪が枕木上を走行した跡が見える。)



**写真 10.3.2 阿蘇市車帰における
外輪山崩壊(1)**



**写真 10.3.3 阿蘇市車帰における
外輪山崩壊(2)**

(600mm の望遠で撮影：10.3.2 写真の右側)

国土地理院の4月16日の航空写真からの判読によれば、阿蘇の外輪山の内側では、布

田川断層より北側に断層と並行するような、あるいは断層の延長のような形で地割れが多数みられた。カルデラ内南西側の状況を図10.3.1に示す(図には上述した外輪山の崩壊箇所も示している)。なお、この横ずれを伴わない地割れはこの延長上で北側の外輪山(の山裾)まで続いている。現状で公表されているM7.3の本震の震源断層は阿蘇カルデラ内の赤水周辺までとされているものが多いと思われるが、余震分布は、カルデラを北上する形で別府方面まで続いている。

我々は図の青丸で示す地区で多くの亀裂を見た。横ずれではなく、明らかに陥没したものであった。我々の調査は4月30日であったが、亀裂はこの写真よりも広い範囲で多く出ていた。この写真ではほぼ東西に走る道路に損傷は見られないが、我々の調査時点では道路にも明確な損傷(東側陥没)が見られた。その後の余震で亀裂の発生が拡大していったものとみられる。写真10.3.4、10.3.5に地割れの状況を示す。

この亀裂は図10.3.1に示す円弧上の亀裂と一致する。図10.3.2にこの付近の火山土地条件図を示すが、この亀裂と旧河道が一致している。少なくとも赤水駅近くの亀裂は旧河道の影響を受けたものと考えてよさそうである。周知のように旧河道では地盤の液状化が起こりやすく、地盤が傾斜しているなどの条件で地盤が流動、ここに現れているような亀裂が生じるが、この周辺で液状化によるとみられる噴砂は見られなかった(少なくとも我々の調査時点では。また国土地理院の4月16日撮影の航空写真にもそれらしいものはない)。また、亀裂は縦方向(すなわち東側の陥没)で、流動あるいは横ずれの形跡は認められなかった。

図10.3.3にまさに亀裂が現れていた箇所の地盤柱状図を示す。これによると7m程度までは非常に緩いシルトないしは粘土質シルト

で液状化するような地盤ではないことがわかる。この周辺の地盤の亀裂は断層の動きというよりは、旧河道及びその蛇行の内側に退席した非常に緩いシルトないしは粘土質シルトが地震動の繰り返し作用により軟化（剛性の著しい低下）、これにより沈下したものと考えられる。この現象は、益城町の秋津川沿いでも顕著に見られた（この場合は流動を伴っていた）。詳しくは「3章 平地の地盤被害」を参照されたい。

赤水駅周辺で見られた縦方向の地割れは、

カルデラ内を北東方向に連なっているが、黒川に並行しているものの、旧河道との関連性は見いだせない。北東側では余震も多く起きているので、これらは断層活動の影響で現れた正断層の可能性もある（別府湾から熊本にかけて、すなわち今回の一連の地震活動の震源が地溝帯であることからこの説はまっとうのように思える）。また、北東側のカルデラ内には砂も堆積しており、液状化の可能性も捨てきれない。



図 10.3.1 国土地理院による地表の亀裂判読結果：赤い太線が亀裂
(国土地理院による航空写真判読による、4月16日撮影)

<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H27-kumamoto-earthquake-index.html>

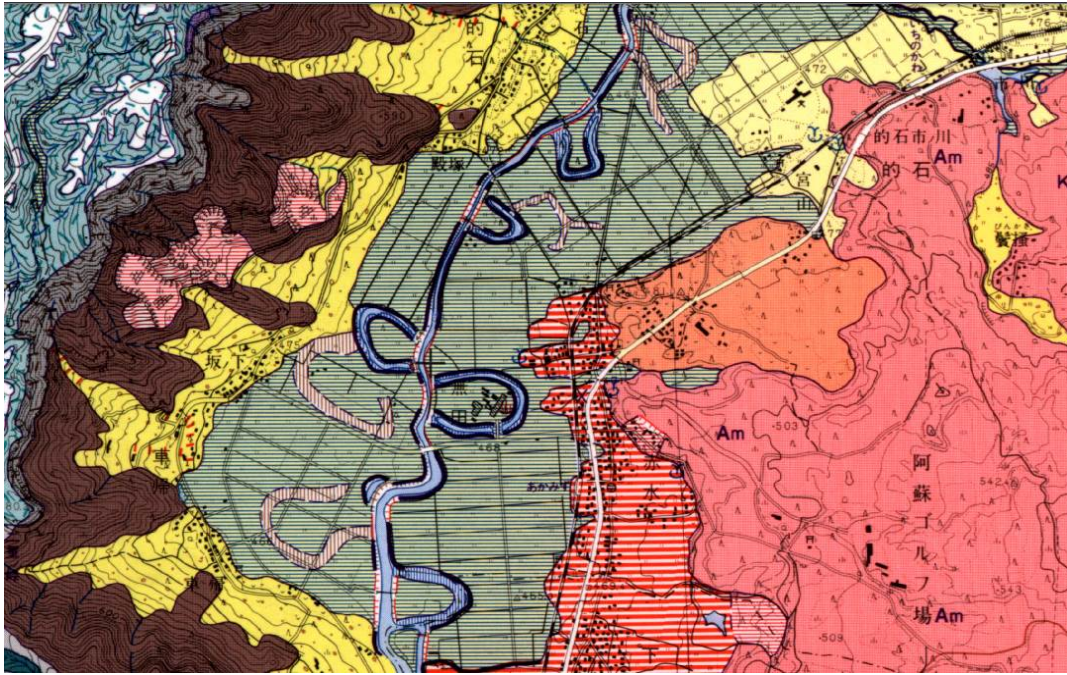


図 10.3.2 火山土地条件図 (国土地理院)

青：河川、緑：閉塞谷、薄いピンク：旧河道

<http://maps.gsi.go.jp/#6/38.419166/137.548828/&base=std&ls=std%7Cv1cd&disp=11&vs=c1j0l0u0f0>



写真 10.3.4 阿蘇市無田 (赤水駅付近) で見られた地割れ(1)



写真 10.3.5 阿蘇市無田 (赤水駅付近) で見られた地割れ(2)

2016 年熊本地震
被害調査報告

非売品

発行日 2016 年 6 月 16 日(第 2 版)


編 者 災害リスク研究センター

発行所 株式会社エイト日本技術開発
〒164-8601 東京都中野区本町 5-33-11
<http://www.ejec.ej-hds.co.jp/>

本書の著作権は、株式会社エイト日本技術開発に帰属します。著作権者の事前の承諾なく、本書の全部もしくは一部を複写・複製・転載することはできません。

現地の1日も早い復旧・復興をお祈りいたします。



 **株式会社エイト日本技術開発**
Eight-Japan Engineering Consultants Inc.
災害リスク研究センター
EJ-Research Center for Disaster Risk Mitigation