

2016年熊本地震における液状化被害の概況と被害分布図

小山 拓志*・手代木 功基**・土居 晴洋*

【要 旨】 2016年熊本地震によって、熊本県を中心に大きな人的・物的被害が発生した。筆者らは、熊本市西区・南区の一部地域における地震直後の現地調査と Google Earth 画像の判読により、液状化被害分布図を作成した。また、住民の証言や画像判読から、前震（4月14日）で生じたのと同じ地点で本震時（4月16日）に再度噴砂が発生したことや、本震時のみ液状化が発生した地点などが確認された。液状化発生地点の土地条件や歴史的な土地利用との関係を考察した結果、調査地域における液状化発生地点は、現在は市街地となっている旧河道や自然堤防上に多いことが判明した。加えて、液状化被害地域の局所的な傾向には、土地条件だけでなく、古くからの水路の存在といった過去の歴史的な土地利用が関わっている可能性を指摘した。

【キーワード】 液状化被害 土地条件 平成28年(2016年)熊本地震 被害分布図

I はじめに

2016年4月14日に熊本県熊本地方において、マグニチュード（以下、M）6.5の地震が発生し、熊本県益城町で最大震度7を観測した。そして、2日後の4月16日01時25分頃には、同地域を震央とするM7.3の地震が発生し、熊本県上益城郡益城町と西原村において最大震度7を再度観測するなど、過去に例が無い地震災害となった。この一連の地震では、建造物の倒壊や土砂災害が発生し、広い範囲でそれらによる人的被害やライフライン被害などが生じた。また、熊本市内を西流する白川や緑川、加瀬川周辺を中心に液状化現象（以下、液状化）が発生し、噴砂の発生や地盤の変形、建造物の沈下などが生じた。

液状化は一度発生すると、その後の地震・余震により再度発生する可能性が指摘されており（再液状化：たとえば、陶野ほか，1983；安田，1988；若松，2011），2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震（M9.0）においても、その事例が報告されている（たとえば、古野ほか，2011；若松，2012a；若松，2012b）。そのため、地震発生直後の液状化発生地点の分布を捉えておくことは、精度の高い液状化ハザードマップの作成あるいは改訂に繋がるだけ

平成28年5月31日受理

*こやま・たくし どり・はるひろ 大分大学教育学部社会認識教育講座（地理学）

**てしるぎ・こうき 総合地球環境学研究所

でなく、今後液状化対策を進めていくうえで重要な基礎資料となり得る(たとえば、宇根ほか, 2015)。このような背景のもと、東北地方太平洋沖地震(たとえば、小山・青山, 2012; 長谷川ほか, 2012; 青山ほか, 2014)や2013年淡路島付近で発生した地震(青山, 2015; 小山, 2015)などにおいては、精度の高い液状化被害分布図が作成されている。また、それらを基に、液状化被害発生地点における地形条件(土地条件)や土地履歴との関係についても検討されている。たとえば、東北地方太平洋沖地震では、利根川下流域において、旧河道や破堤時の洗掘で形成された旧湖沼などが明治期以降に利根川の浚渫砂を用いて埋め立てられるなど、若齢地盤が形成された地域において高密度に液状化が発生した(たとえば、青山ほか, 2014)。さらに、同地震においては、かつての砂利採取場を埋め戻した領域においても、液状化の発生が確認された(たとえば、先名ほか, 2012; 青山・小山, 2015)。このように、液状化被害の発生には、微地形分布だけでなく、地形や地盤の発達過程、さらには人為的改変といった歴史的な土地利用(履歴)も影響を与えていることが明らかとなっている。

以上を踏まえ、本地震による液状化被害分布図の作成と、液状化発生地点における土地条件や歴史的土地利用の検討は、既述した再液状化の発生予測に繋がるだけでなく、近い将来発生が危惧されている南海トラフ巨大地震における液状化発生予測の再評価にも繋がる可能性が高いと考えられる。そこで、本稿では、執筆段階における本地震の発震機構(5月4日現在)や被害の概要(5月27日現在)をまとめたのち、地震発生直後に調査を実施した液状化被害の概況と、現地調査およびGoogle Earth画像判読を基に作成した液状化被害分布図を報告する。また、作成した液状化被害分布図を治水地形分類図や旧版地形図と重ね合わせることで、液状化発生地点の土地条件や歴史的な土地利用との関係について考察をおこなう。

II 地震と被害の概要

1. 地震の概要

図1に、九州地域に分布する活断層と、本地震における震央・震度・震源・土砂移動に関する分布図を示した。気象庁の発表によると、今回の地震は、2016年4月14日21時26分頃に発生した、熊本県熊本地方の深さ11 km付近を震源(32° 44.5' N, 130° 48.5' E)とするM6.5の地震が前震とされ、次ぐ16日01時25分頃に発生した、同地域の深さ12 km付近を震源(32° 45.2' N, 130° 45.7' E)とするM7.3の地震が本震とされている。この14日の前震により、熊本県益城町で最大震度7、玉名市、西原村、宇城市、熊本市で震度6弱を観測し、15日00時03分頃に発生したM6.4(宇城市で震度6強を観測)の余震を挟んで、16日の本震では益城町と西原村において最大震度7、南阿蘇村、菊池市、宇土市、大津市、嘉島町、宇城市、合志市、熊本市で震度6強が観測された⁵⁾。その後は、29日に大分県中部でM4.5の地震が発生し、由布市(湯布院町)で震度5強を観測するなど、震源域が熊本県阿蘇地方、さらには大分県中部へと拡大した。また、今回の一連の地震は、本震発生から2週間で震度1以上を観測する地震が1,000回を超すなど、余震活動がきわめて活発であるという特徴を有する。気象庁は同月14日に、この一連の地震を「平成28年(2016年)熊本地震:The 2016 Kumamoto Earthquake」と命名した⁶⁾。政府は、25日の持ち回り閣議において、熊本県を中心とした一連の地震を、激甚災害法に基づき激甚災害として指定した⁷⁾。

本地震の発震機構は、南北方向に張力軸を持つ横ずれ断層型とされており⁸⁾、本震および余

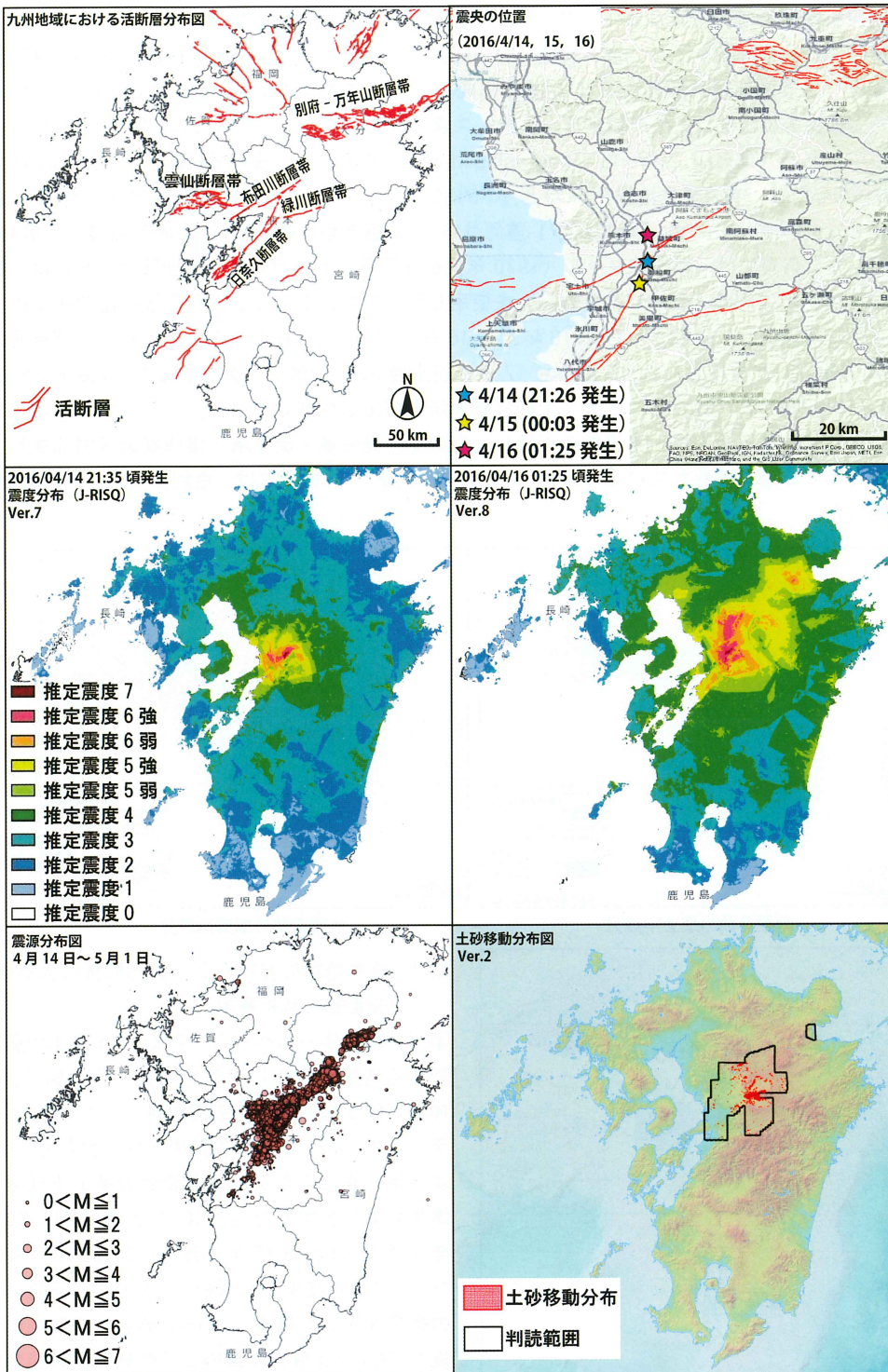
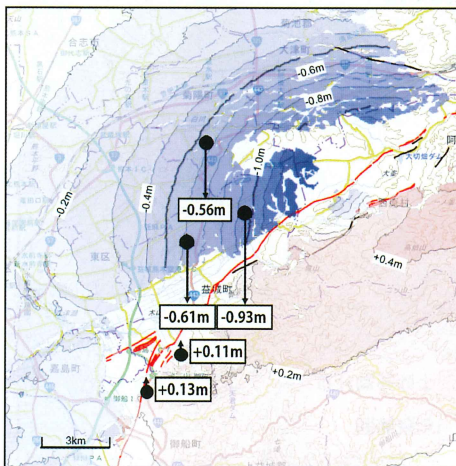
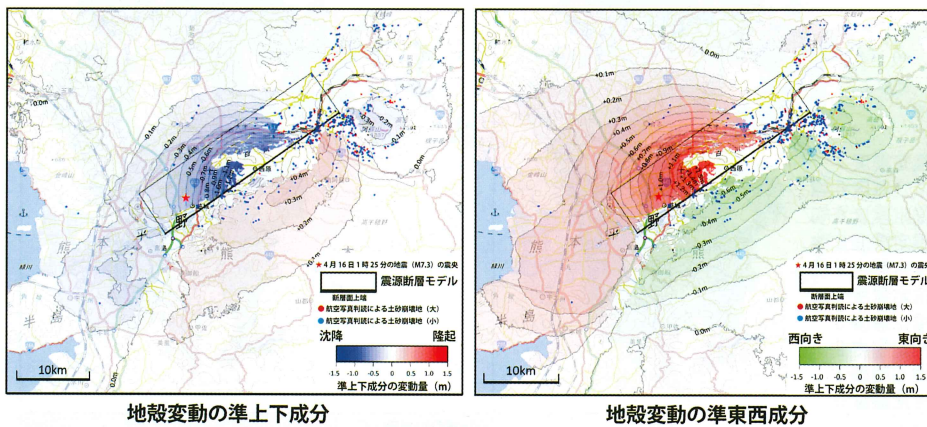


図1 九州の活断層および熊本地震における震央・震度・震源・土砂移動分布図

全て防災科学技術研究所 e コミマップ²⁾および地理院タイル(災害関連)³⁾をベースに作成した。活断層分布図は、地理院タイル(災害関連)の「災害対応_地震_平成 28 年熊本地震_SAR 解析結果_活断層図(地震調査研究推進本部)」を基に作成し、活断層名は地震調査研究推進本部(2013)に従った。震央の位置は、気象庁震度データベース検索を基に作成し、背景には ESRI ArcGIS のベースマップである「地形図(World Topographic Map)」を使用した。震度分布図は、【J-RISQ 震度分布】2016/04/14 21:35 頃発生地震(Ver.7)と、【J-RISQ 震度分布】2016/04/16 01:25 頃発生地震(Ver.8)を使用した。震源分布図は、【防災科研】震源分布(高感度地震観測網【Hi-net】自動・手動処理)を使用した。背景には、地理院タイル(1970 年代航空写真)を使用した。土砂移動分布図は、防災科学技術研究所作成の「土砂移動分布図」を使用した。なお、これは防災科学技術研究所が国土地理院「地理院地図」に掲載された 2016 年 4 月 16 日・19 日・20 日の空中写真、および情報通信研究機構(NICT)が作成した 2016 年 4 月 17 日の航空機 SAR 画像を、災害前の Google Earth に掲載されている画像と比較することで、土砂移動箇所を特定し作成している。また、斜面崩壊・土石流等による発生域・流下域・堆積域を判読したもので、発生域・流下域・堆積域の区別はされおらずまとめて赤色で塗られている(2016 年 5 月 2 日更新)⁴⁾。背景には、色別標高図(国土地理院)を使用した。



GNSS 観測による上下変動量

図2 熊本地震における 2.5 次元解析による地殻変動の解析結果

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」¹³⁾の「2.5 次元解析による結果」に加筆。国土地理院は地震発生後に、だいち 2 号データの SAR 干渉解析結果を組み合わせ、2.5 次元解析をおこない、地殻変動の準上下成分、準東西成分を求めた(2016 年 3 月 7 日~2016 年 4 月 18 日と 2015 年 2 月 10 日~2016 年 4 月 19 日の解析結果から解析)。さらに、三角点での衛星を用いた観測(GNSS 観測)を緊急に実施し、2.5 次元解析結果の上下変動量との整合性を確認している。2016 年 4 月 20 日公表、4 月 2 日追加。

震の震源は、大局的に比較的地震発生の確率が高いと長期評価されていた布田川断層帯・日奈久断層帯（たとえば、地震調査研究推進本部，2013）⁹⁾に沿って分布している。布田川断層帯は、阿蘇外輪山の西側斜面から宇土半島の先端に至る活断層帯で、日奈久断層帯はその北端において布田川断層帯と接し、八代海南部に至る活断層帯である。また、地震発生直後の現地調査では、布田川断層帯近辺において地表地震断層の出現が確認されている^{10) 11)}。また、国土地理院が、だいち2号データの SAR 干渉解析結果を組み合わせ、2.5次元解析をおこなったところ（2016年3月7日～2016年4月18日・2015年2月10日～2016年4月19日）¹²⁾、布田川断層帯および日奈久断層帯に沿って、顕著な地殻変動が認められた。とくに、布田川断層帯の北側で最大1m以上の沈降、南側では最大30cm以上の隆起があったと推定されている。東西方向の変動は、布田川断層帯の北側では東向きに最大で1m以上、南側では西向きに最大50cm以上の変動となり、日奈久断層帯では、それよりは小さいものの北西側では東向き、南東側で西向きの変動となっていた（図2）。これらの特徴も、本地震が右横ずれ断層運動であったことを示唆している。

2. 地震による被害の概要

総務省消防庁の報告¹⁴⁾（5月27日14時発表）によれば、本地震による人的被害は、死者69名（うち、震災後における災害の負傷の悪化、または身体的負担による疾病により死亡したと思われる死者数20名を含む）、負傷者数1,663名で、住家被害は106,769棟（うち、全壊8,309棟、半壊18,724棟、一部損壊79,736棟）、公共建物を含む非住家被害は1,030棟と報告されている。被害の範囲は長崎県と鹿児島県を除く九州と山口県の6県に及ぶが、死者は全員、重軽傷者の96%を熊本県が占めるほか、住家被害についても98%を熊本県が占めている。熊本県内にあっては、市町村別の死者数を示した図3からも明らかなように、被害の多くは熊本市、益城町、南阿蘇村などの震源域に集中している。

熊本県は、被災戸建住宅の倒壊危険性を調べる「応急危険度判定」において、立ち入りが「危険」とされた建物が、4月30日現在で13,113件あり、判定した建物46,966件の27.9%を占めたと報告している（「要注意」は14,907件）。この「危険」の割合は、東日本大震災（12.3%）や阪神大震災（13.9%）、新潟県中越地震（14.5%）を上回っている¹⁶⁾。

地震が直接の要因として発生した土砂災害は、熊本県を中心に土石流が43件（熊本県40件、大分県3件）、地すべりが17件（熊本県17件）、がけ崩れが39件発生した¹⁷⁾。とくに、熊本県南阿蘇村では、阿蘇大橋地区や立野川地区、高野台地区において土砂災害が発生し、死者9名、行方不明者1名という人的被害が生じた。とくに、阿蘇大橋付近の斜面崩壊は大規模で、国道57号線を寸断し、黒川に掛かっていた阿蘇大橋崩落の要因になったと考えられている。

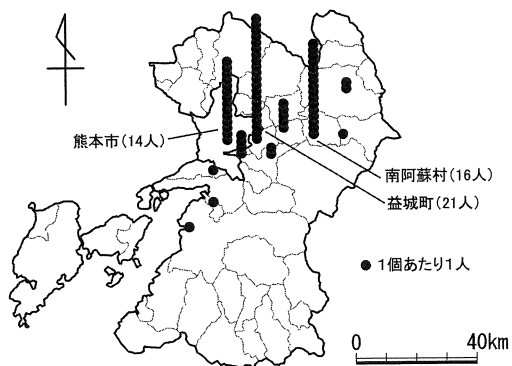


図3 熊本地震による熊本県内の市町村別死者数

熊本県災害対策本部（2016）：「平成28年（2016年）熊本地震に係わる被害状況等について（第72報）速報値」¹⁵⁾を基に作成。

Ⅲ 調査地域概要と調査方法

1. 調査地域概要

調査を実施したのは、熊本市の中心部を流れる白川の下流部左岸地域である（図 4）。熊本市は約 74 万人が住む政令指定都市であり、現在の市街は城下町を基礎として発展してきた。市の北部から東部にかけては、金峰山をはじめとした小規模な山地と、阿蘇火山の火砕流台地から形成される。一方で、調査対象地域である熊本市西部から南西部にかけては、海拔約 20m 以下の低地（沖積平野）が広がっている。また、島原湾の臨海部には干拓地が広がる他、沿岸部には埋立地である熊本港も存在する。

対象地域は熊本市西区・南区の一部にあたり、市の中心部からは南西方向に位置する。調査地域を西流する白川は、阿蘇地域を水源とする一級河川であり、調査地域南方の緑川とともに熊本沖積低地を形成した。

この沖積低地には自然堤防と後背湿地が発達し、高さ 2~3m 以下のわずかな起伏が認められる。顕著な自然堤防帯として、平田町付近~川尻町にかけて、南熊本付近~由迎町良町にかけて、八王子町~画図町所島にかけて、江津~下江津にかけてのものが確認される（横山・渡辺，1991）。これらの自然堤防は白川の現流路から離れており、かつその伸長方向は白川の現流路の方向に平行していない。したがって、横山・渡辺（1991）は、これらの自然堤防について白川が現在の流路をとる以前の古い流路に関係して生成されたものと推定している。

本地域における自然堤防は一般に古くから畑地として利用され、集落が立地している。さらに、古くからの主要道は自然堤防上を選んで作られる傾向が強かった。一方で後背湿地は古くから水田に利用されてきた。しかし近年は都市域の拡大ともなまって、自然堤防や後背湿地の如何を問わず、宅地化や建造物の建設が急速に進行している。

2. 調査方法

現地踏査は、熊本市西区および南区を中心に（図 4）、2016 年 4 月 15 日、18 日、5 月 18 日に実施した。調査方法は、現地を自動車概査したのち、被害が顕著な地区を徒歩で回り、被害形態の記載と被害地点のマッピングをおこなった。その際、GPS 機能付きデジタルカメラ（SONY Cyber-shot DSC-HX60V）で被害状況を撮影しておき、被害分布図作成の際にその位

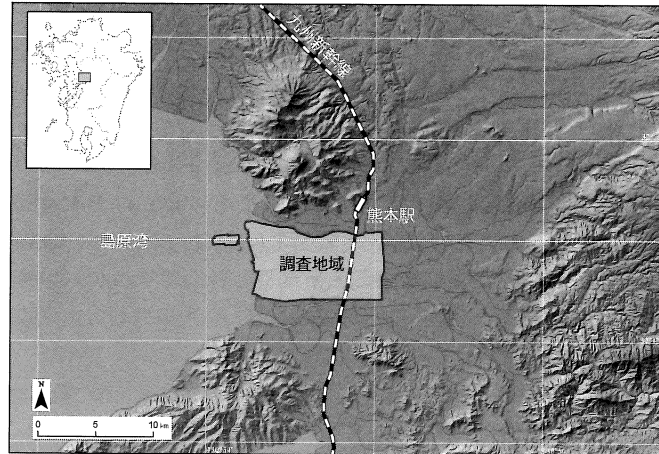


図 4 調査地域の位置

枠線の範囲内が調査地域（衛星画像の判読地域）。国土地理院提供の地理院地図・色別標高図をモノクロ化したものに加筆。

置情報を補足的なデータとして活用した。

現地踏査における液状化の判定は、液状化発生の根拠になりうる噴砂の堆積(安田, 1988; 山口ほか, 2008)を基におこなった。また、広範囲で液状化が発生していた場合には、現地踏査だけでは液状化の面的な広がりを把握することができないため、Google Earth 画像(画像取得日 2016年4月15日)を活用し、地表面の色の違いを基に噴砂の判読をおこなった(図5)。現地踏査による被害地点のマッピング、GPSを利用した被害写真撮影ポイントのプロット、さらにはGoogle Earth 画像の判読結果を統合し、ESRI ArcInfo 10.3を用いて液状化被害分布図を作成した。そして、作成した液状化被害分布図を治水地形分類図や旧版地形図に重ね合わせることで、液状化発生地点の土地条件(地形条件)および歴史的土地利用(履歴)を検討した。また、現地調査の際、液状化の目撃者や戸建住宅被害を受けた住民から、液状化発生時の様子などについてヒアリングを実施した。

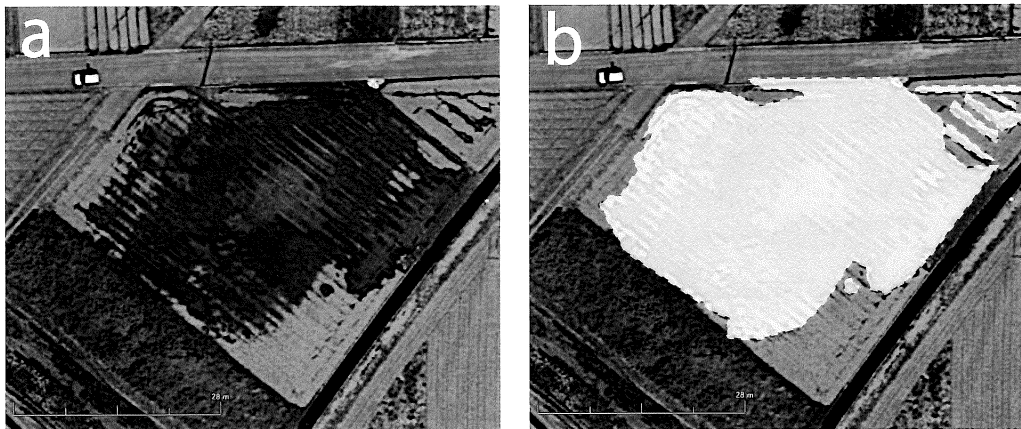


図5 噴砂発生域の判読例

Google Earth 画像 (a) で地表面の色の違いを基に、噴砂発生域を判読した (b)。

IV 液状化被害の概況と被害分布図

1. 地震による液状化被害の概況

表1 現地踏査によって確認された液状化発生地点数

液状化によって発生した現象	確認した数
噴砂	259
構造物の沈下・傾動	104
構造物周辺の沈下(抜け上がり)	4
地表の陥没・開口亀裂・波状変形	159 (うち明瞭な線状の亀裂が115ヶ所)

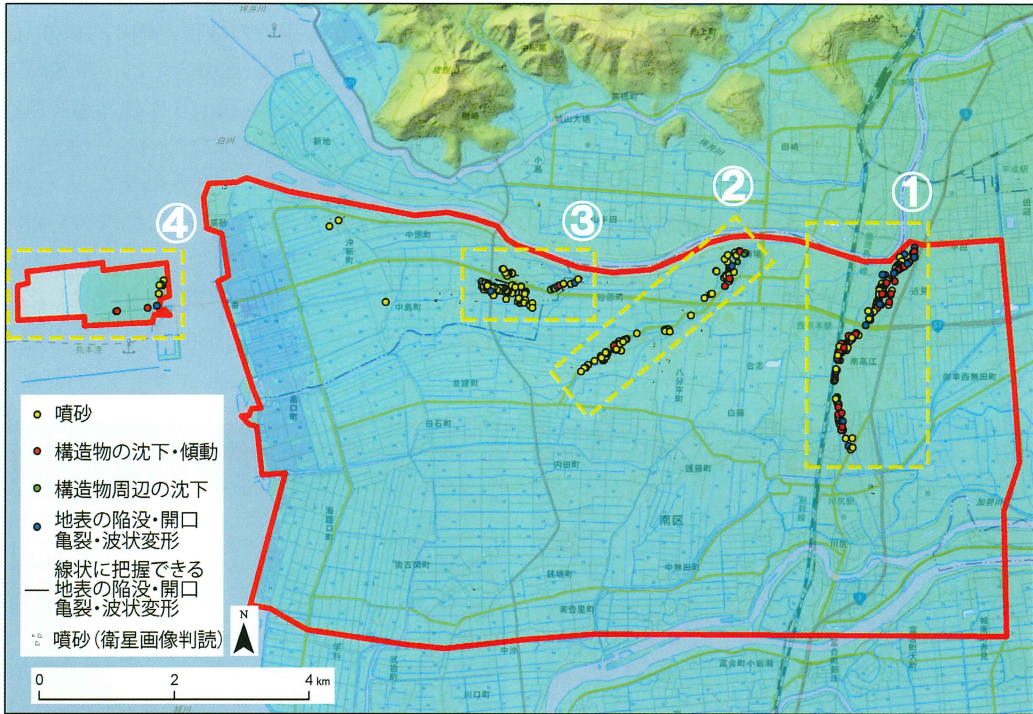


図6 調査範囲における液状化被害の分布

噴砂発生域は、Google Earth 画像を判読。黄色破線で囲った範囲が現地調査を実施した範囲で、赤線で囲った範囲は Google Earth 画像判読範囲である。背景は、地理院地図および国土地理院（色別標高図）を使用。

液状化は、熊本市南区、西区、上益城郡益城町、嘉島町、阿蘇市において発生し、噴砂の堆積や地盤の変形、建造物の沈下などが生じた^{18) 19) 20)}。とくに、白川や緑川、加瀬川沿岸での発生が顕著で、液状化による堤防の被害も報告されている²¹⁾。これらの発生はいずれも地域的に偏りがみられ、狭い範囲において局所的に発生した地点も存在する。

現地踏査では、とくに液状化の発生が顕著であった、①南区近見、南高江、白藤、八幡付近、②南区土河原町、砂原町、孫代町、浜口町、八文字町付近、③西区小島上町、中原町、中島町付近、④熊本港の4つの地域における被害の概況を記載し、被害分布図を作成した。これらの地域における現地踏査では、噴砂 259 地点、建造物の沈下・傾動 104 地点、建造物周辺の沈下（抜け上がり）4 地点、地表の陥没・開口亀裂・波状変形 159 地点が確認された（表 1）。

Google Earth 画像の判読では、現地踏査を実施した範囲より広範囲で噴砂の発生が確認された。一方で、比較的判読し易い農地（畑地）や草地の噴砂が、4月15日取得の Google Earth 画像では確認できなかった地点においても、本震後に実施した現地踏査（4月18日、5月18日）では確認されるなど、14日の前震と16日の本震では液状化の発生地点および発生状況が異なっていた可能性がある。以下に、液状化の発生が顕著であった上述の地域ごとに、詳細な液状化被害の概況と被害分布図を示す。

2. 熊本市南区および西区における液状化被害の概況と被害分布図

a) ①南区近見, 南高江, 白藤, 八幡付近

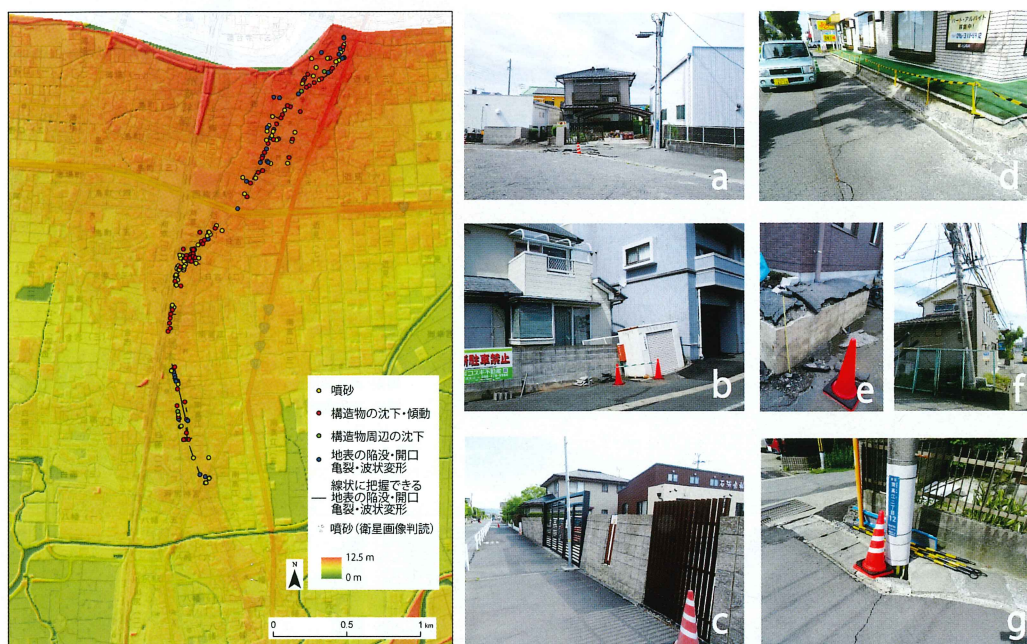


図7 南区近見, 南高江, 白藤, 八幡付近の液状化被害分布図と被害概況

分布図の噴砂発生域は、Google Earth 画像を判読した。写真は個人情報 を考慮し、一部加工している。写真は 2016 年 4 月 15 日, 18 日, 5 月 18 日に筆者撮影。左図の背景は、国土地理院基盤地図情報数値標高データ (5m メッシュ) を利用して作成した段彩図を使用 (以下, 図 8 から 10 まで同様)。

南区近見, 南高江, 白藤, 八幡付近は、現地踏査を実施した地域の中で最も液状化被害が顕著な地域である。液状化被害は、街道に沿うようなかたちで、帯状に 3km ほど連続的に発生した。液状化被害は、主に噴砂、開口亀裂、路面陥没・波状変形、宅地地盤・舗道・電柱の沈下・傾動が発生し、とくに液状化が原因と考えられる戸建住宅の沈下・傾動が、他の地域に比べて多く見受けられた。

図 7 (a) ~ (c) は、戸建住宅や構造物の沈下・傾動の様子である。とくに、道路に並行する水路沿いの戸建住宅や構造物の被害が顕著であった。これは、戸建住宅や構造物の基礎地盤が、液状化によって水路側に流動 (側方流動) したことで発生したと考えられる。図 7 (d), (e) は、他の地域ではそれほど確認されなかった、周辺地盤の沈下に伴う建造物の抜け上りの様子である。とくに被害の大きかった病院では、約 90~100cm の抜け上がりによって (図 7 (e)), 入口に大きな段差が生じてしまい、スロープを設置するほどであった。また、本地域は電柱の傾動・沈下も顕著で、電柱の際から多量の噴砂が発生した地点も見受けられた (図 7 (f), (g))。

b) ②南区土河原町，砂原町，孫代町，浜口町，八文字町付近

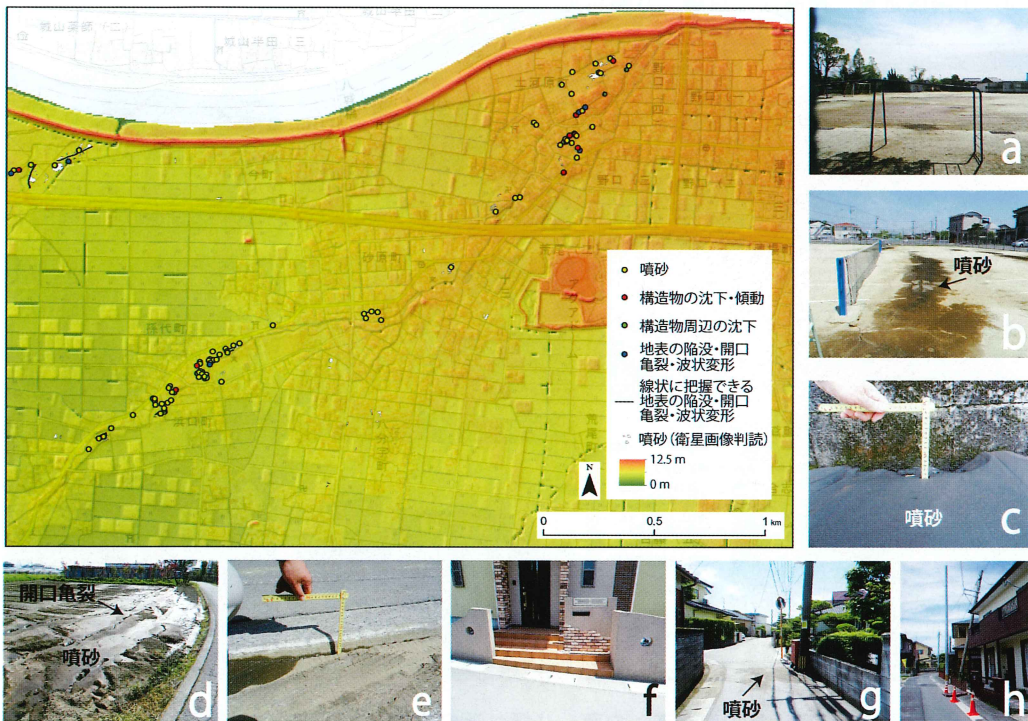


図8 土河原町，砂原町，孫代町，浜口町，八文字町付近の液状化被害分布図と被害概況

南区土河原町，砂原町，孫代町，浜口町，八文字町付近では，液状化による噴砂の堆積が顕著で，ほかに開口亀裂，路面陥没・波状変形といった被害が見受けられた。また，一部地域では，液状化が要因と考えられる宅地地盤・舗道・電柱の僅かな沈下・傾動が確認された。これらの被害は，本地域の北東-南西方向に約2.4km，幅約100～150mという，直線的かつ狭い範囲において局所的に生じたという特徴を有する（図8）。

図8(a)，(b)は，グラウンドとテニスコートに発生した開口亀裂と噴砂である。開口亀裂は亀裂の幅5～10cm，長さ約5m（最大20m）で，噴砂の堆積厚は5cmであった。小学校のグラウンドには，現地踏査の際に水溜りが存在していたことから，噴水現象も同時に発生したと推測される。また，噴砂は舗道の亀裂や塀の間からも発生し，厚さ約6cmの堆積が確認された（図8(c)）。畑地には，亀裂の幅約10cm，長さ5～20m程度の開口亀裂と，直径5～10cmの噴砂孔が多数生じており，そこから多量の噴砂が発生していた（図8(d)）。図8(e)は，液状化が原因と考えられる宅地地盤と舗道の不同沈下の様子で，6～10cm程度の沈下が生じた。また，宅地地盤の不同沈下によって戸建住宅が傾動し，門扉が傾いた戸建住宅や（図8(f)），玄関扉に隙間が生じた戸建住宅が見受けられた。図8(g)，(h)は，電柱の傾動で，電柱の間からは噴砂の発生が認められた。

現地調査時に実施した住民へのヒアリングでは，前震の直後に「水の流れる・噴き出すような音が聞こえた」，「本震でも同じ場所から噴砂が発生した」との証言が得られた。このことか

ら、本地域では前震直後に液状化が発生し、前震で生じた開口亀裂などから、本震の際に再度噴砂が発生したと考えられる。

c) ③西区小島上町，中原町，中島町付近

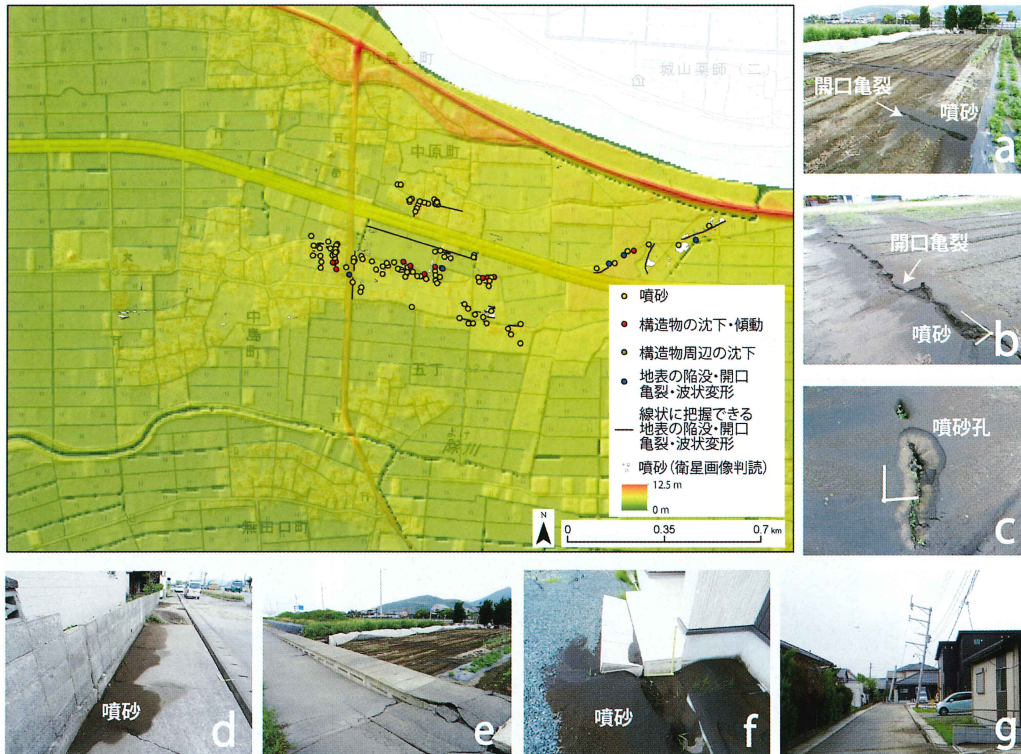


図9 液状化被害分布図と被害の概況

白川の左岸側に位置する西区小島上町，中原町，中島町付近では、液状化による噴砂の発生が顕著で、ほかに開口亀裂，路面陥没・波状変形といった被害が見受けられた。また、液状化が要因と考えられる，宅地地盤・舗道・電柱の沈下・傾動が確認された。同地区の液状化被害も比較的局所的に発生しており，その範囲はおおよそ0.2 km²であった。

この地区は、とくに畑地における開口亀裂と多量の噴砂の発生が顕著で、最大で亀裂の幅20cm，長さ35mという開口亀裂も確認された。それ以外の開口亀裂は、概ね亀裂の幅10cm，長さ約1～5mで，噴砂の堆積厚は5～7cmであった(図9(a)～(c))。また，噴砂は舗道の亀裂や塀の間からも発生し，厚さ約5cmの堆積が確認された(図9(d))。図9(e)，(f)は，液状化が原因と考えられる宅地地盤と舗道の不同沈下の様子である。舗道の沈下・変形は，長い場所で120mにも及び，40～60cmの沈下が確認された(図9(e))。また，戸建住宅被害としては，液状化が原因と考えられる宅地地盤の不同沈下によって沈下・傾動した戸建住宅が，数地点確認された(図9(f))。さらに，同地域では，電柱の傾動や沈下も複数の地点で確認された(図9(g))。

現地調査時に実施した住民へのヒアリングでは、「前震の直後に多くの地点で液状化が発生し、噴砂・噴水現象がみられた」、「本震でも同じ場所から噴砂が発生した」、「舗道と畑地の境界にこれまでは段差がなかったが、液状化によって段差ができた」との証言が得られた。一方で、「前震では液状化が発生しなかったのに、本震で液状化が発生した地点が多々ある」、「前震よりも本震のほうが液状化の発生地点が多かったと思う」との証言もあった。事実、2016年4月15日撮影のGoogle Earth画像では噴砂の確認ができないにもかかわらず、本震後に実施した4月18日の現地調査では、開口亀裂と多量の噴砂が確認された地点があった。このことから、同地域は前震、本震共に液状化が発生し、多量の噴砂が発生したと考えられる。

なお、農家へのヒアリングによると、「この地域の畑地はネギの栽培が主であるが、種まき直後に液状化が発生したため、噴砂により種がダメになってしまった」という声が聞かれた。このように、今回の地震による液状化が農地で顕著に発生したため、農業にも大きな打撃を与えている。

d) ④西区新港（熊本港）

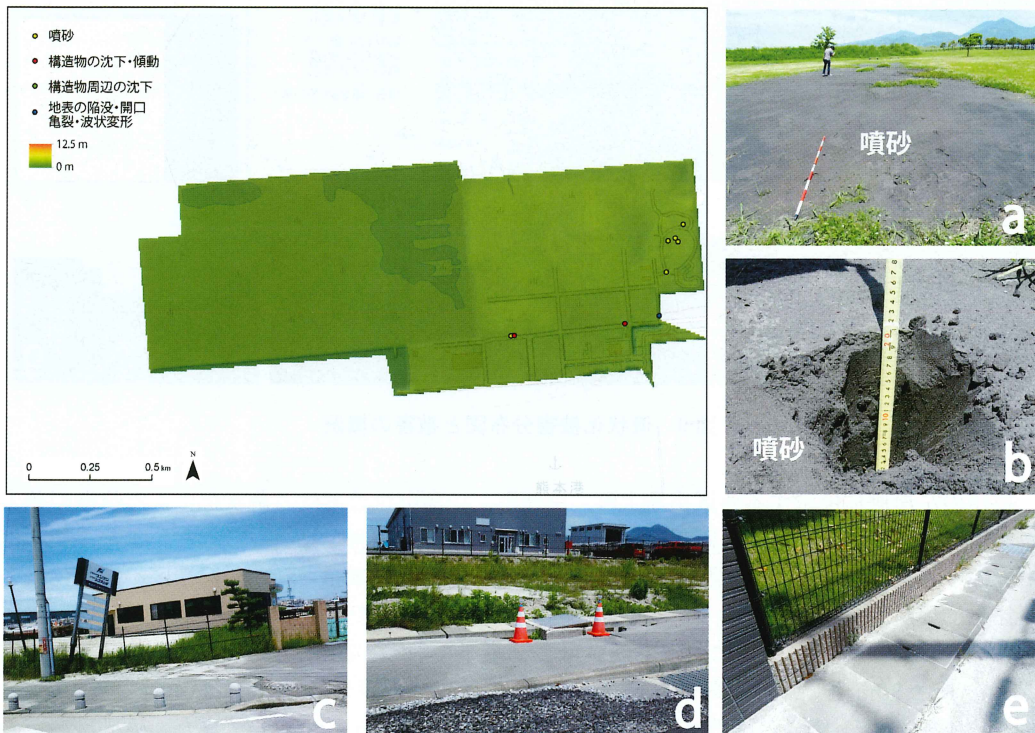


図 10 西区新港（熊本港）の液状化被害分布図と被害概況

西区新港の港湾施設である熊本港は、人工島（埋立地）に立地している。ここでは、液状化は概ね島の東側で発生し（図 10）、とくに公園の芝地には、6～7箇所の噴砂孔（最大直径 25cm）から、多量の噴砂が発生していた（図 10(a)）。噴砂厚は厚いところで 20cm もあり（図 10(b)）、噴砂の発生域も広域であった。他方で、4月15日取得のGoogle Earth画像では、この噴砂域

を判読することができなかった。草地や畑地に発生した噴砂は、色の違いから判読することはそう難しいことではないため、この噴砂は本震で発生した可能性がある。

図10(c)～(e)は、構造物の沈下・傾動および舗道の不同沈下(5～10cm)の様子である。熊本港においては、その他、舗道の波状変形や橋の橋台に高さ60cm程度の段差が生じるといった被害が発生した。橋台に生じた段差は、液状化によるものか定かではないが、液状化によって道路側の地表全体が水域側に流動したことによって接合部に圧力がかかり、橋台が破損(隆起)した可能性がある。

V 液状化発生地点における土地条件・歴史的土地利用の検討

液状化被害地点を治水地形分類図に重ねると(図11)、人工島である熊本港を除いて、液状化は主に旧河道やそれに沿った自然堤防上、あるいは氾濫原(後背湿地)上で発生している。とくに、南区土河原や西区中原付近の液状化は、低い自然堤防の縁において、帯状に発生している傾向が認められた。一方で、南区近見付近から南に延びる比較的高い自然堤防上において、液状化被害の帯が白川沿いではなく、内陸に位置する川尻付近にまで続いている。本来であれば、この地域は比較的内陸であることや、高い自然堤防上であることなどから、液状化の発生しにくい地盤特性と推測される。また、国土地理院基盤地図情報数値標高データ(5mメッシュ)を利用して作成した段彩図(図7)でも、この地域に明瞭な旧河道の痕跡を認めることはできない。そのため、本地域で液状化が発生した要因については、単純な土地条件だけで説明することは難しい。

図12に、本地域において最も古い1901年(明治34年)測図の旧版地形図に、液状化被害地点を重ね合わせたものを示す。これによると、氾濫原(後背湿地)は現在よりも広い範囲が水田として利用されており、そのような場所に液状化が発生している地点が認められる。したがって、今回の地震において氾濫原(後背湿地)上で発生した液状化発生地点の中には、過去に水田として利用されていた、水はけの悪い軟弱地盤上で発生した地点が含まれると推測される。一方で、明治34年には、既に土河原や孫代付近、中原付近には集落が形成されており、近見付近には街道を確認することができる。つまり、明治34年の旧版地形図を見る限りでは、やはり近見付近において水域の埋め立てや旧河道の存在といった、液状化発生要因として指摘できるだけの明瞭な根拠を見出すことはできない。

もう一つ、近見から川尻近辺にかけて液状化が発生した要因として考慮しなければならないのは、水路の存在である。新熊本市史編纂委員会(2003)によれば、川尻は鎌倉期から重要な外港であり、近世期には既に港町としての基盤が完成していたようである。そして、当時の川尻には(おそらく、現在の高江付近)、近見(当時は近見村)近辺から「井出溝」と呼ばれる小さな水路が流れ込んでおり、それと他の河川や水路とをつなぐ川堀も掘り込まれていたようで、水路の多い町であった。現在もこの井出溝の名残と思われる水路が、近見から南に向かって延びている。また、この水路は、1830年(文政13年)の「御鷹場総絵図」²²⁾にも描かれており、かなり古い時代から近見付近を流れていたようである。

たとえば、上述の水路が、当時ある程度の幅を持った小規模河川のようなかたちでこの付近を流れていたとしても、現在その名残や痕跡を見出すことは困難であると推測される。つまり、現在旧河道の名残や痕跡が認められないとしても、かなり古い時代には、近見付近に小さな河



図 11 液状化被害地点と地形の分布

基図は国土地理院・数値地図 25000 (土地条件) を加工して作成した。

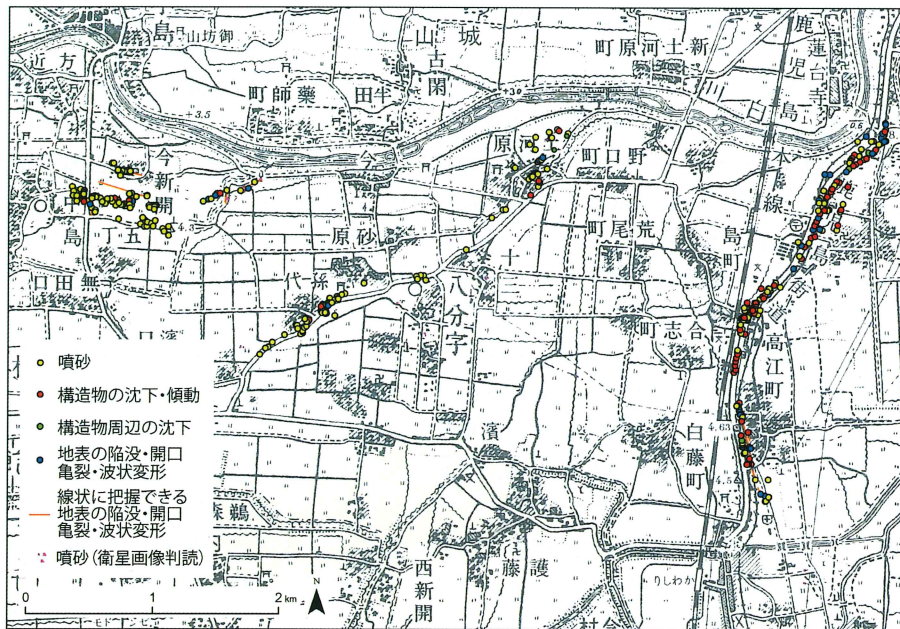


図 12 明治 34 年測図旧版地形図との重ね合わせ

基図は明治 34 年測図昭和 17 年第 2 回修正測図同 26 年応急修正「1/50,000 熊本」を使用した。

川のようなものが存在していた可能性があり、横山・渡辺（1991）が指摘したように、これが近見から川尻にかけて延びる自然堤防を形成した可能性も否定できない。もちろん、この水路（井出溝）が、当時どの程度の規模（幅・深さなど）であったのかを知る資料を現在のところ持ち合わせていないため、推論の域を出ることはない。しかし、実際に液状化が水路沿い、あるいはそれに並行するかたちで発生していたことに鑑みれば、少なくとも液状化の発生しやすい地盤特性（砂質地盤、高い地下水位）を形成した一つの要因として、古くから残る水路の存在を考慮・検討する必要があるだろう。

VI まとめ

本稿は、2016年熊本地震による液状化被害について報告した。また、熊本市南区および西区における詳細な液状化被害分布図を提示し、土地条件と歴史的土地利用を基に、液状化発生要因について考察を試みた。本研究で得られた結果は、以下のようにまとめられる。

①現地調査を実施した熊本市南区および西区においては、液状化の発生が大きく4地域に偏在する傾向が認められ、調査地域内において少なくとも520ヶ所以上の被害が確認された。

②液状化による被害は、埋立地を除き、自然堤防上および自然堤防の縁、旧河道沿いに集中しており、帯状に被害が分布している地域が認められた。

③一方で、近見から川尻にかけて帯状に発生した液状化に関しては、土地条件だけではその発生要因を明らかにすることができなかった。

④液状化被害地域の局所的な傾向には、土地条件だけでなく、古くからの水路の存在といった歴史的な土地利用が関わっている可能性を指摘した。

以上のように、本研究では、土地条件が液状化の発生に大きな影響を与えているという、従来の知見とも合致する結果が得られた。その一方で、現在の地形や地表の状況では判読困難な、旧河道あるいは古くから存在する水路が、液状化発生要因の一つになっている可能性が見出された。つまり、これまでの評価では、このような地点の液状化発生確率を低く見積もっている可能性があるため、現在の液状化ハザードマップを含む液状化の発生予測を、再評価する必要があるだろう。今後は、古文書や絵地図・古地図といった歴史資料の分析に加え、現地調査で採取した噴砂の粒度分析をおこなうなど、地盤特性に関するデータも取得・解析する予定である。

謝辞

現地調査では、大分大学大学院教育学研究科の氏田洵悠氏と、大分大学教育福祉科学部学校教育課程の伊南翔太氏にご助力頂いた。以上の方々から感謝の意を表します。なお、本稿の骨子は、日本地球惑星科学連合2016年大会の緊急特別セッション「2016年熊本地震および関連する地殻活動」において発表した。末筆ながら、本地震により被災された方々に心よりお見舞い申し上げます、一日も早い被災地の復興をお祈り申し上げます。

注

- 1) 気象庁震度データベース検索 (<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/>) 最終閲覧日 2016/05/04
- 2) 地域住民自らが参加型で地図を作成し、グループ内や外との情報共有が行える Web マッピングシステム (Web-GIS)。防災科学技術研究所が開発した、地域協働を支える情報基盤「eコミュニティ・プラットフォーム (e コミ)」の主要アプリケーションであり、サイト構築・運営ツールである e コミグループウェアと一体的に利用することができる。本システムはオープンソースにより無償公開している。(<http://ecom-plat.jp/>) 最終閲覧日 2016/05/04
- 3) 地理院タイル一覧ページ (<http://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>) 最終閲覧日 2016/05/04
- 4) 防災科学技術研究所 熊本地震による土砂移動分布図 (2016.5.2 更新) (<http://www.bosai.go.jp/mizu/dosha.html>) 最終取得日 2016/05/04
- 5) 注 1 と同じ資料。最終閲覧日 2016/05/04
- 6) 気象庁 (2016) : 報道発表資料 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 (第 4 報) (<http://www.jma.go.jp/jma/press/1604/15e/kaisetsu201604151030.pdf>) 最終取得日 2016/05/04
- 7) 内閣府「平成二十八年熊本地震による災害についての激甚災害及びこれに対し適用すべき措置の指定に関する政令」について (http://www.bousai.go.jp/kohou/oshirase/pdf/20160425_01kisy_a.pdf) 最終取得日 2016/05/04
- 8) 気象庁 (2016) : 報道発表資料「平成 28 年 (2016 年) 熊本地震」について (第 6 報) (<http://www.jma.go.jp/jma/press/1604/15g/kaisetsu201604151530.pdf>) 最終取得日 2016/05/04
- 9) 地震調査研究推進本部 (2013) : 布田川断層帯・日奈久断層帯の評価 (一部改訂) (http://jishin.go.jp/main/chousa/13feb_chi_kyushu/k_11.pdf) 最終取得日 2016/05/04
- 10) 熊原康博・後藤秀昭・中田 高 : 2016 年熊本地震・地震断層に関する緊急速報 (<http://jsaf.info/jishin/items/docs/20160417172738.pdf>) 最終取得日 2016/05/04
- 11) 国土地理院 (2016) : 航空写真・UAV 動画の判読による平成 28 年熊本地震に伴い出現した南阿蘇村河陽・黒川地区の断層について (<http://www.gsi.go.jp/common/000139911.pdf>) 最終取得日 2016/05/04
- 12) 国土地理院 HP : 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#3>) 最終閲覧日 2016/05/04
- 13) 注 12 と同じ資料。最終閲覧日 2016/05/04
- 14) 総務省消防庁 (2016) : 「熊本県熊本地方を震源とする地震 (第 56 報)」 (<http://www.fdma.go.jp/bn/1605271400>) 最終取得日 2016/05/28
- 15) 熊本県災害対策本部 (2016) : 「平成 28 年 (2016 年) 熊本地震に係わる被害状況等について (第 72 報) 速報値」 (http://www.bousai.go.jp/updates/h280414jishin/pdf/h280414jishin_15.pdf#) 最終取得日 2016/05/28
- 16) 毎日新聞 2016 年 5 月 2 日東京朝刊 (<http://mainichi.jp/articles/20160502/ddm/001/040/16500c>) 最終閲覧日 2016/05/04
- 17) 国土交通省 (2016) : 「熊本県熊本地方を震源とする地震について (第 28 報)」 (<http://www.mlit.go.jp/common/001130271.pdf>) 最終取得日 2016/05/04
- 18) 黒木貴一・出口将夫 : 平成 28 年 (2016 年) 熊本地震調査報告 (http://www.ajg.or.jp/disaster/files/201604_kumamoto001-2.pdf) 最終取得日 2016/05/04
- 19) 青山雅史 : 平成 28 年熊本地震による白川下流域における液状化の発生と被害 (速報) (http://www.ajg.or.jp/disaster/files/201604_kumamoto009.pdf) 最終取得日 2016/05/04
- 20) (公社) 地盤工学会 熊本地震地盤災害説明会一被害状況とこれから私たちが気をつけること一資料 pdf, 村上哲・永瀬英生 : 平成 28 年熊本地震液状化被害 (<https://www.jiban.or.jp/images/s>

aigai/20160427shiryō-04.pdf) 最終取得日 2016/05/04

21) (公社)地盤工学会 熊本地震地盤災害説明会－被害状況とこれから私たちが気をつけること－資料 pdf, 石蔵良平:河川堤防等の被害 (<https://www.jiban.or.jp/images/saigai/20160427shiryō-03.pdf>) 最終取得日 2016/05/04

22)『新熊本市史 通史編 第四巻 近世Ⅱ』490pに掲載されている、「図1 白川下流の堰・井樋」を基に記載。この図は、「御鷹場絵図」(永青文庫蔵)より作成されている。

引用文献

- 青山雅史 (2015) : 2013年4月13日淡路島付近で発生した地震における液状化発生地点の分布と土地条件. 地図, vol.53, no.1, pp.27-33.
- 青山雅史・小山拓志 (2015) : 東北地方太平洋沖地震による茨城県神栖市, 鹿嶋市における液状化発生域と砂利採取場分布の変遷との関係. 日本地理学会発表要旨集, no.87, p.138.
- 青山雅史・小山拓志・宇根 寛 (2014) : 2011年東北地方太平洋沖地震による利根川下流低地の液状化被害発生地点の地形条件と土地履歴. 地理学評論, vol.87, no.2, pp.128-142.
- 宇根 寛・青山雅史・小山拓志・長谷川智則 (2015) : 我孫子市の液状化被害とそれを教訓としたハザードマップの改訂. 地学雑誌, vol.124, no.2, pp.287-296.
- 小山拓志・青山雅史 (2012) : 茨城県潮来市および神栖市の液状化被害分布と土地履歴. 地質汚染－医療地質－. 社会地質学会誌, vol.8, no.3/4, pp.26-38.
- 小山拓志 (2015) : 2013年淡路島付近で発生した地震による液状化現象の被害分布図. 季刊地理学, vol.66, no.3, pp.193-201.
- 新熊本市史編纂委員会 (2003) : 『新熊本市史 通史編 第四巻 近世Ⅱ』. 熊本市, 1052p.
- 先名重樹・長谷川信介・前田宜浩・藤原広行 (2012) : 東北地方太平洋沖地震における利根川流域の液状化被害. 日本地震工学会論文集, 第12巻, 第5号 (特集号), pp.143-162.
- 陶野郁雄・安田 進・社本康広 (1983) : 日本海中部地震による液状化災害. 基礎工, vol.11, no.10, pp.125-131.
- 長谷川信介・前田宜浩・河合伸一・内藤昌平・岩城麻子・はお憲生・森川信之・東 宏樹・先名重樹 (2012) : 2011年東北地方太平洋沖地震による利根川流域の液状化被害. 防災科学技術研究所主要災害調査, no.48, pp.121-134.
- 古野邦雄・楠田 隆・風岡 修・香川 淳・酒井 豊・吉田 剛・加藤晶子・山本真理 (2011) : 利根川下流域の液状化・流動化現象—2011年東北地方太平洋沖地震と1987年千葉県東方沖地震を例にして—. 『社会地質学会シンポジウム 利根川中下流域の液状化・流動化・地波現象—人工改変地と液状化地域・安全な街づくりを考える—』, 社会地質学会・古関東深海ジオパーク推進協議会, pp.55-70.
- 安田 進 (1988) : 『液状化の調査から対策工まで』. 鹿島出版会, 243p.
- 山口 晶・吉田 望・飛田善雄 (2008) : 液状化に伴う噴砂と液状化層厚の関係. 土木学会論文集 C, vol.64, no.1, pp.79-89.
- 横山勝三・渡辺一徳 (1991) : 熊本市および周辺地域の地形地質の概要と研究課題. 市史研究くまもと, 第2号, pp.53-72.
- 若松加寿江 (2011) : 『日本の液状化履歴マップ 745—2008』. 東京大学出版会, 90p.
- 若松加寿江 (2012a) : 2011年東北地方太平洋沖地震による地盤の再液状化. 日本地震工学会論文集, vol.12, no.5 (特集号), pp.69-88.
- 若松加寿江 (2012b) : 2011年東北地方太平洋沖地震による液状化被害—被害の特徴と液状化発生地の土地条件—. 関東学院大学工学総合研究所所報, no.40, pp.15-30.

An Outline of Damage from Liquefaction and a Liquefaction Damage Distribution Map resulting from the 2016 Kumamoto Earthquake

KOYAMA, T., TESHIROGI, K. and DOI, H.

Abstract

As a result of the Kumamoto earthquake in 2016, severe human and material damage occurred centering on Kumamoto Prefecture. The authors created a liquefaction damage distribution map by carrying out a field survey and by interpreting the Google Earth satellite picture immediately after the earthquake in the partial area of Nishi-ku and Minami-ku, Kumamoto City. Residents' testimony collected by interviews revealed that some of the sand boiling which accompanied the main shock (April 16) occurred at the same points as that produced in the foreshock (April 14). As a result of considering in detail the relation between the topographic conditions of points where liquefaction occurred, and the history of artificial land use, it became apparent that there were many points of liquefaction occurrence in the research area in old river channels and natural levees which now serve as built-up areas.

【 Key words 】 liquefaction damage, land conditions, The 2016 Kumamoto Earthquake, liquefaction site map