



## 熊本地震による地盤関係の被害と過去の被害との比較

安田進<sup>1)</sup>、石川敬祐<sup>2)</sup>、佐藤剛<sup>3)</sup>、永井慎太郎<sup>4)</sup>

1) 正会員 東京電機大学理工学部建築・都市環境学系、教授 工博  
e-mail : yasuda@g.dendai.ac.jp

2) 正会員 東京電機大学理工学部建築・都市環境学系、助教 博士 (工学)  
e-mail : ishikawa@g.dendai.ac.jp

3) 学生会員 東京電機大学大学院理工学研究科、学生  
e-mail : 16rmg04@ms.dendai.ac.jp

4) 学生会員 東京電機大学大学院理工学研究科、学生  
e-mail : 16rmg06@ms.dendai.ac.jp

### 要 約

2016年熊本地震では熊本市や益城町を中心に、阿蘇から大分県に至るまで広い範囲で地盤に関係した被害が発生した。被害の種類としては液状化、斜面崩壊、丘陵地の造成宅地盛土の変状、河川堤防の変状、道路盛土・切土法面の崩壊、ため池や鉱さい集積場の被害、帯状の陥没があった。過去の同様の被害と比較したところ、液状化に関しては細長い帯状の区域で液状化したことや、阿蘇のカルデラ内で発生した帯状の陥没が、これまで見られなかった特異な被害と考えられた。

キーワード： 地震、地盤、液状化、盛土

### 1. まえがき

2016年4月に発生した熊本地震では液状化による建物の沈下や、斜面崩壊、河川堤防の沈下など地盤関係の被害が多く発生した。過去の地震でもこれらの被害が多く発生してきてはいるが、今回の地震では局所的に揺れが非常に強いとか、大きな前震や余震が多発したとか、地表断層が現れたといった地震動自体の性格に特異な点もあり、地盤関係の被害としても過去の地震に比べて特徴的な被害も発生した。筆者達の一部は4月14日21時26分に発生した前震 (Mj=6.5) による被害を受けて現地調査を行うために15日夜に熊本市にはいったところ、16日の1時25分に発生した本震 (Mj=7.3) にあった。このため、16日の10時頃から17日午後にかけて、本震直後における熊本市や益城町、立野、赤水付近の被害状況を調査した。その際、前震による被害からの経緯も一部ヒアリングした。そして3週間後には湯布院から阿蘇のカルデラ内、および熊本市南部の甲佐町などの調査を行い、さらに2か月半経ってから益城町などの追加調査を行った。

地震発生後まだ3か月しか経っていない時期であり、また、ボーリングデータも得られていない状況にあるが、筆者達が現地調査をした結果、過去の地震と比べて今回の被害の特徴と思われることを、以下に速報として報告したい。

## 2. 地盤の被害が発生した範囲

防災科学技術研究所の調べによると、今回の地震で液状化は熊本市を中心に南は八代市から北は玉名市までの低地で発生している<sup>1)</sup>。また、国土地理院の土砂崩壊地分布によると、斜面崩壊は南阿蘇を中心に南西は宇土付近から、北東は湯布院あたりにかけて発生している<sup>2)</sup>。今回の地震では4月14日に日奈久断層が動いて前震が起き、16日には布田川断層が動いて本震が発生した。図1にK-netの地震記録のうち、前震と本震の地表最大加速度（NSとEW成分のうちの大きい方）の分布を示す。過去の地震時には、一般に200cm/s<sup>2</sup>程度以上の地表最大加速度になると液状化や斜面崩壊などの地盤の被害が発生しているが、八代や玉名、湯布院あたりが丁度その程度の地震動が生じた境界であったようである。今回の地震は震央距離や断層距離で被害の有無を議論し難いが、大まかには過去の地震と同様に200cm/s<sup>2</sup>程度以上の地表最大加速度が発生した地域で地盤の被害が発生したと言えよう。

ところで、益城町や熊本市では前震、本震と非常に強い地震動に襲われ、さらに大きな余震が続いた。筆者の一部は本震の時は熊本市内にいたが、直後には大きな余震があい続き、20分程度も揺れ続けたような印象を受けた。図2に益城、熊本、宇土のK-netとKIK-netで観測された地表最大加速度（三成分合成）を時間とともに示すが、①3箇所とも200cm/s<sup>2</sup>を超える強い震動が多く発生し、②益城では1500cm/s<sup>2</sup>前後の非常に強い揺れが2回発生し、③場所によって前震と本震時の強さが異なった。そして、このように強い震動に複数回襲われたために、液状化による建物の沈下がそのたびに大きくなるなど、強い震動を受ける度に被害の程度が増していったことが特徴と考えられる。

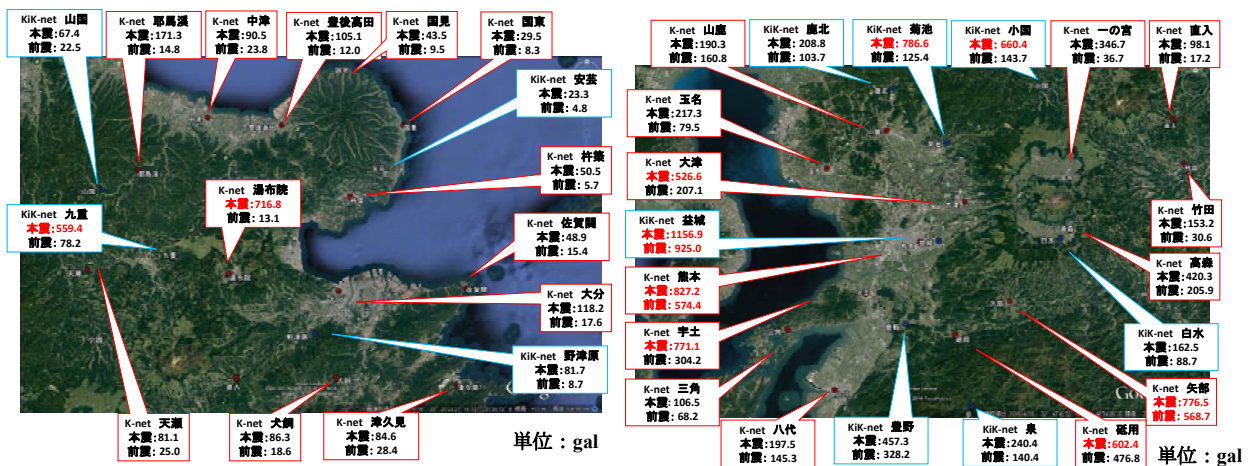


図1 本震と前震の地表水平最大加速度の分布（K-net より）

## 3. 熊本市から阿蘇にかけての地質の概況と地盤関係の被害の分布に関して

被害が最も大きかった熊本市から阿蘇にかけての地質図<sup>3)</sup>を図3に示す。この地域は臼杵—八代構造線の北側に位置し、地形的に阿蘇の山地と託麻、高遊原などの台地、白川と緑川が流れる低地から形成されている。阿蘇のカルデラ形成に関与した噴出物は阿蘇火砕流堆積物と呼ばれ、熊本市まで流れてきて託麻台地などを形成している。白川は阿蘇に流れを發し、立野火口瀬を通過して熊本に流れ、有明海に注いでいる。また、緑川は九州山地から流れてきて加勢川などと合流して有明海に注いでいる。

この地質図に液状化、斜面崩壊、造成宅地盛土の変状、陥没が発生した地区の位置を大まかに示す。液状化地点に関しては、筆者達が調査したものに加え、地盤工学会調査団の永瀬英生教授（九工大）、村上哲教授（福岡大）らが調査した結果、および防災科研での調査結果をもとに、特に噴砂が多い地区を大まかに囲ったものである。また、斜面崩壊は国土地理院の土砂崩壊地分布で崩壊が密集している範囲を大まかに囲ったものである。造成宅地盛土被害箇所も代表的な地区だけを示している。したがって、それぞれの被害が多かった地区を示しただけの図であり、各地点を正確にプロットしたものではないことをお断りしたい。図を見ると液状化は緑川水系の低地の各地で発生し、斜面崩壊は立野から阿蘇にか

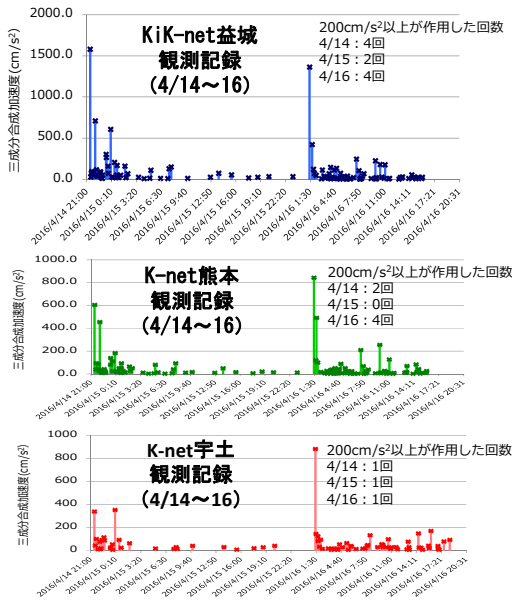


図2 3箇所で記録された地表最大加速度（3成分合成）の経緯

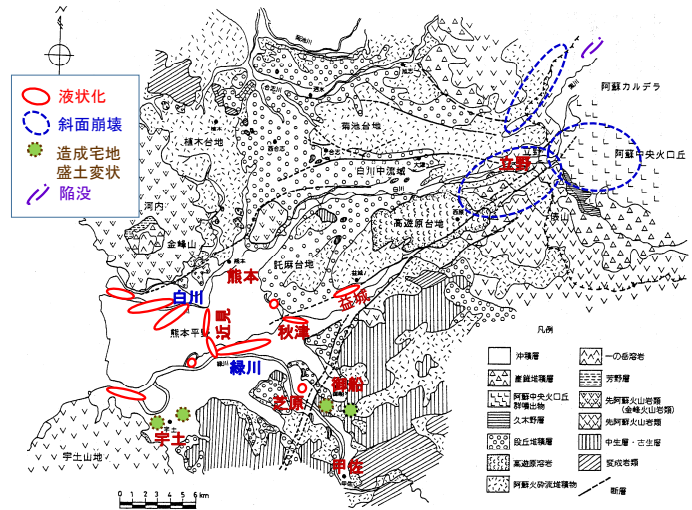


図3 地質図<sup>3)</sup>と地盤関係被害発生箇所の概略の分布

けて、また、造成宅地盛土の被害は御船町や宇土市の丘陵・台地で発生している。

#### 4. 地盤の被害の概要と特徴

今回発生した地盤関係の被害の概要と特徴を示すと以下ようになる。

液状化は図3に大まかに示したように、緑川水系の低地の広い範囲で発生した。この他に阿蘇のカルデラ内でも発生し、筆者達は調査に行っていないが八代、玉名などでも発生したとのことである<sup>1)</sup>。なお、熊本市東区江津湖畔の熊本動植物園でも液状化被害が発生し、3か月経っても休園が続いている。微地形から分けると、現・旧河道や自然堤防、水田への盛土地、海岸の埋立地や干拓地で発生している。2011年東日本大震災の際に関東地方で液状化した箇所の多くは海や沼などの最近の埋立地であったが、今回は近見など最近の埋立地ではない所の液状化も多かった。液状化強度は堆積後に増加していく（エイジング効果）が、それでも新しくない地盤が液状化したのは、地表最大加速度が大きかったことが影響しているのかもしれない。液状化した箇所では家屋が沈下・傾斜し、道路も被災した。これは過去の地震と同様であったが、噴砂の量は東日本大震災の東京湾岸のそれに比べて少なかった。図4に噴砂の粒径加積曲線を比較して示す。両者を比較すると今回の噴砂の方が粒径が数倍大きく、このため噴水に伴って地表に砂が上がってきにくかったと考えられる。ただし、1995年阪神淡路大震災などの時の噴砂量もそんなに多くなく、むしろ東京湾岸の噴砂量が異常だったと言えよう。なお、代表的な4つの地区の被災状況は後述する。

自然斜面の崩壊は南阿蘇村、西原村、阿蘇市の斜面で多く発生し、また、写真1のように国道や鉄道を

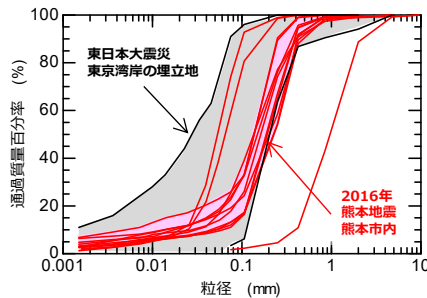


図4 噴砂の粒径加積曲線



写真1 阿蘇大橋付近で発生した斜面の大崩壊



写真2 造成宅地盛土の変状した斜面の大崩壊





写真3 緑川右岸 8.8k 付近の堤防の被災状況



写真4 緑川右岸 8.8k 付近の河川敷で見られた噴砂



写真5 九州自動車道の盛土の崩れ



写真6 大分自動車道切り取り法面のすべり



写真7 橋梁取付け部の段差



写真8 益城町に生じた横ずれ断層

埋める大崩壊も発生した。内陸で地震が発生すると斜面崩壊が多く発生し、また、断層沿いに崩壊が集中する傾向があるが、今回も同様であったと言えよう。さらに、阿蘇の火山灰が斜面の表層にあったためそれが滑り易かったことも崩壊が多く発生した理由であろう。

丘陵地や台地での造成宅地盛土の変状は御船町や宇土市のいくつかの団地で発生した。写真2に御船町での被災状況例を示す。造成宅地自体の規模があまり大きくなく、腹付け盛土が滑った程度であり、東日本大震災時の仙台市の被害のような大規模な被害は生じていなかった。

河川堤防は緑川水系と白川水系などの多くの箇所被災した。5月6日の国土交通省によると両水系の河川管理施設は171箇所被災し、そのうちクラック約120箇所、堤体沈下約20箇所、護岸等約20箇所とされている<sup>4)</sup>。特に緑川の中上流に変状が集中した。また、直轄区間上流の熊本県管理の河川堤防・護岸も各地で被害を受けた。写真3に甚大な被災が発生した緑川右岸8.8k付近の被災状況を示す。天端に大きなクラックがはいり、沈下も発生した。堤外地の河川敷では写真4のように噴砂が生じ、堤内地の法尻でも噴砂が発生していた。

高速道路では、九州自動車道の盛土が益城町（図9の地点③）において写真5に示すように近接した川に向かって崩れた。また、大分自動車道では湯布院においては切り取り斜面が写真6のように滑った。なお、湯布院では国道の斜面も一部崩れていた。大分県といえども図1に示すように揺れは大きかったためと考えられる。一方、一般道路では各地で自然斜面や切り取り斜面で大小の崩壊や落石が発生し、腹付け盛土の沈下も多く発生した。さらに、低地においては橋梁の取り付け部で写真7のような大きな段差が発生した。このため通行障害が各地で発生したが、河川が多い地域であったこともあり、過去の地震と比べて段差の数は大変多かった。

ため池や鉱さい集積場の被害としては、農業用ため池の大切畑ダムに丁度断層が横切ったため、堤体に変状が生じた。また、大分県と福岡県の県境近くにある廃止された鉱さい集積場の法面が崩壊した。

その他、益城町から南阿蘇村にかけて写真8に示すように地表に右横ずれ断層が現れた。また、阿蘇カルデラ内には後述するように正断層型の特異な陥没が発生し、家屋などが被害を受けた。

## 5. 代表的な地区の液状化による被害に関して

### 5.1 熊本市南区の近見～川尻にかけて

この地区では南北に走る道路沿いに50～100m程度の幅細い帯状で、約5kmにわたって液状化が発生し、

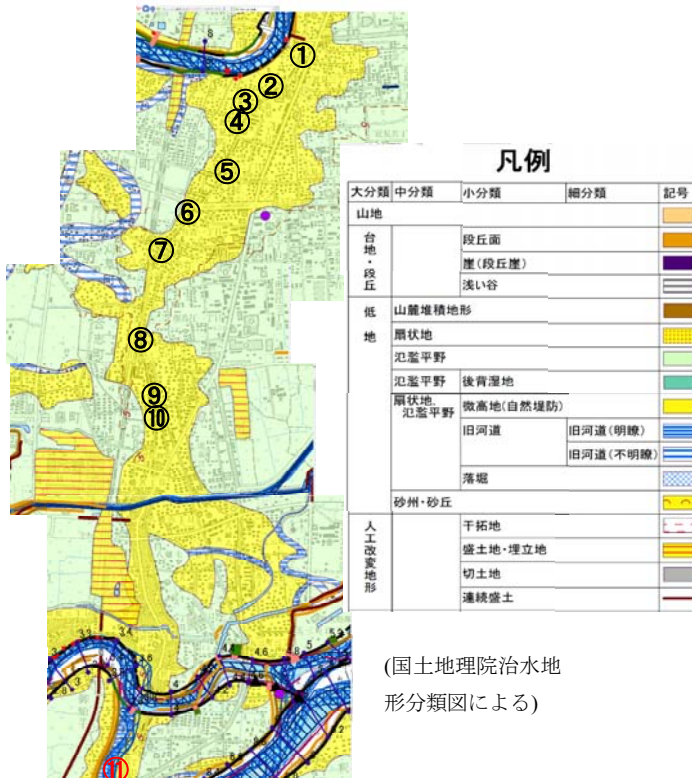


図5 近見～川尻にかけての治水地形分類図と写真撮影箇所



写真9 近見1丁目における液状化被害(その1)



写真10 近見1丁目における液状化被害(その2)



写真11 刈草1丁目における液状化被害



写真12 近見1丁目における道路沿いの水路

多くの低層建物が沈下・傾斜した。特に図5に示した箇所では建物に甚大な被害が見られた。そのうち代表的な被害を写真9～11に示す。写真9付近では2階建ての住宅が多く沈下・傾斜していた。写真の奥の中層のマンション自体は大丈夫そうであったが、ライフラインは被災したようで補修した跡があった。日吉小学校前では、写真10に示すように道路沿いの住宅が軒並みに沈下、傾斜していた。写真11の建物は3階建てで重かったせいか、手前の建物は最大約80cmも地盤にめり込みながら沈下していた。奥の建物は後ろ側に大きく傾いたが、これは裏に建物が近接しているため、相互作用により裏側に傾いたのではないかと考えられる。この箇所は本震の翌日に訪れたが、その時に聞いた住民の方の話によると、前震でまず液状化して沈下し、その後本震でさらに大きく沈下したとのことである。

さて、図5の下図の治水地形分類図と液状化による被災箇所を比較すると、被災した箇所は分類上すべて自然堤防上に該当する。この自然堤防は川から緑川にかけて北→南に分布している自然堤防である。旧地形図を明治34年の5万分の1地形図まで遡ってみても鹿兒島街道と記載された現在の道路しか描かれていない。現在では写真12に示すようにこの道路沿いに水路が設けられている。自然堤防が存在するということは、かつてはその中央に川が流れておりその両脇に自然堤防が形成されたはずである。しかも



図5に示される自然堤防の幅は最大で1km程度もあるため、川自体も比較的幅が広がったことが推察される。これらのことより、今回液状化した帯状の範囲は、旧河道を明治時代以前に埋めて街道や宅地に使った地区に該当するのではないかと推察される。ただし、古文書の収集や横断する地盤調査などを行って確かめる必要がある。もし、旧河道を埋め立てたため液状化したとのことであつたら、過去の地震でも同様に被害は多く発生してきてはいるが、今回のように帯状にしかも長さが長く、また、明治時代まで遡っても旧河道と記されていないケースは珍しいと言える。

## 5.2 熊本市東区の秋津町や甲佐町芝原付近

図6に熊本市東区の秋津町の治水地形図を示す。この地区には二つの団地がある。一つは木山川と矢形川に挟まれて、水田として利用されていた微高地に、盛り土して最近造られた間島団地である。ただし、図にも示されているように、過去には矢形川はかなり蛇行しており、河川改修をして現在の流路になっている。図中②、③地点で本震の半日後に撮った写真を写真13、14に示す。団地内では各所で噴砂が発生し、戸建て住宅には杭の抜け上がりや、沈下・傾斜が発生し、団地内の道路も被害を受けていた。また、木山川の川岸が滑っていた。前震の翌日にも現地を訪れていた伊東周作氏（基礎地盤コンサルタント）によると川岸のクラックは本震で広がったとのことである。この団地の西端に公園があり、そこに発生していた地割れ内を見ると地下水位はGL-1m程度と浅かった。もう一つの団地は矢形川の南の氾濫平野に盛り土して造られた秋津レイクタウンである。ここは団地より一段低い入口の地点⑤付近の道路に噴砂が発生していた。この地点も微高地に盛土した地区に当たる。間島団地と秋津レイクタウンを国土地理院の色別標高図と比較すると、間島団地の標高が7m程度であるのに対し秋津レイクタウンのそれは8m弱と宅盤の標高が1m程度異なっており、この違いが被害の有無に影響していることも考えられる。なお地点⑤付近の標高は7m程度である。ただし、原地盤や盛土の違いなど地盤状況が分からないと被害の違いは議論できない。

図7に甲佐町芝原の治水地形分類図を示し、これと同じ範囲とスケールで図8に地震後に撮影されたGoogleマップの写真を示す。筆者達がこの地区の調査に行ったのは本震から3週間後であり、噴砂発生箇所も明らかでなかったため、図8の写真において噴砂が発生しているように見える箇所を図中に示してみた。図7と図8を比べてみると、東側の五反地区は微高地（自然堤防）の上に古くから集落が形成されて

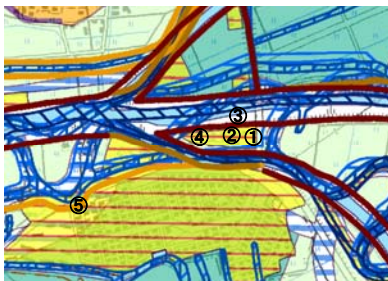


図6 秋津町の治水地形分類図と写真撮影箇所



写真13 間島団地における液状化による戸建て住宅の被害



写真14 間島団地における川岸のすべり



図7 甲佐町芝原の治水地形分類図



図8 甲佐町芝原のGoogleマップ



写真15 甲佐町芝原における戸建て住宅の沈下・傾斜

いて、そこでは噴砂は発生していない。一方、中央の芝原地区では水田上に盛土して住宅地が造られ、そこに噴砂が発生している。この住宅地を遠望したのが写真15であり、傾いた家がこの写真からも見られるが、実際、住宅地内では戸建て住宅が沈下・傾斜し、道路も被害を受けていた。三週間後の現地調査では噴砂がまだ残っている状態であり、20mm程度の垂角礫を含む砂質土であった。また、住民の方の証言では、この住宅地は約10年前に分譲された新しい住宅地であった。なお、その西側には旧河道があるが、そこでも噴砂が発生していた。

さて、この2つの地区では水田上に盛土した区域が液状化している。地盤調査データがないと明らかでないが、盛った土が液状化したのではないかと考えられる。水田上に盛った土が液状化して家屋の被害を起こした事例はあまり目立たないが、過去にも2004年新潟県中越地震の際などに発生してきている。

### 5.3 益城町

益城町は多くの家屋が全壊したがこれは前震と本震時などで大変強い地震動を受けたことによる。ただし、地盤関係でも液状化やそれに伴う地盤の流動によって家屋などに被害が発生した。なお、筆者達は本震の半日後に車で益城町内を通ったが、その時は余震が続く危険な状況下であり詳細な調査は出来なく、噴砂の現地確認もちゃんとは行えていないことをお断りしたい。

図9に治水地形分類図を示す。北側は段丘面になっており、南に向かって秋津川まで2/100～5/100程度の勾配で下る傾斜地盤となっている。この段丘面を北→南に向かって小河川が削って低地を形成している。旧河道もいくつか存在する。地点①では下水道の埋戻し土の液状化に起因すると思われる道路の局

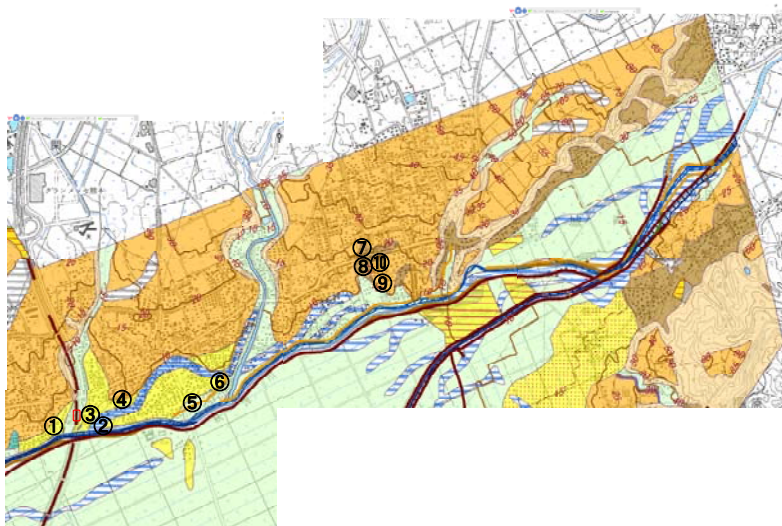


図9 益城町の治水地形分類図と写真撮影箇所



写真16 益城町福富における護岸の孕み出しと背後の宅地



図10 益城町安永の大正15年と現在の地形図



写真17 益城町福富の保育園での液状化発生状況



写真18 益城町惣領における液状化被害状況





写真19 益城町地点⑦において発生したクラック



写真20 益城町宮園で震動によって壊れた住宅

所的な沈下が発生していた。②の地点は旧河道が現河道の秋津川に出る箇所該当するが、ここでは写真16のように秋津川の護岸が孕み出し、背後の宅地が川に向かって流動し、家屋が被害を受けていた。④の保育園内では写真17に示すように噴砂が発生しており、この地区では部分的に液状化が発生したのではないかと考えられる。なお、②～④の地区は自噴の井戸で生活している地区で、地震動で土粒子構造が壊れて液状化した以外にも、地震で井戸が壊れ被圧水で噴水が発生し、その際に砂を噴き上げたものも噴砂に含まれている可能性もある。したがって、液状化したかどうかの判断に留意する必要がある。

写真18は⑥地点の被災状況を示す。これは本震の2か月半後に撮ったもので明瞭な噴砂は見られなかったが、この一帯では電柱、塀が沈下・傾斜し、マンホールも浮き上っており、液状化によって被害を受けたのではないかと考えられる。治水地形分類図では旧河道に該当するが、明治34年の5万分の1地形図だと水田になっている。

⑦、⑧地点付近の大正15年と現在の2万5000分の1地形図を比較して図10に示す。東西に走る道路（現在の県道28号線に該当）の南側に隣接して地点⑧にため池が存在し、その堤体は南側に設けられていたようである。現在はこのため池は埋め立てられ公園になっている。Googleマップの写真を見ると公園内に噴砂らしきものが見られ、液状化したものと考えられる。写真19は道路の北側に隣接した地点⑦で3週間後に撮った写真であり、地面にクラックが発生していた。また、道路とため池との間にある建物は甚大な被害を受けており、基礎を引き裂かれたような被害も発生していた。したがって、溜池を埋めた土が液状化し、道路の北側の区域も含めてため池に向かって地盤が流動したのではないかと推察される。なお、治水地形分類図上ではこの地区は山麓堆積地形に分類されている。

さて、写真20は⑩の箇所でも2か月半後に撮影したものである。この一帯は震動による家屋の被害が特に甚大であった。地形的に見ると秋津川から上がってきて少し傾斜が緩くなる遷急点的な所に該当し、断面的には凸部になるので、揺れが特に集中したのかもしれない。ただし、地層構成も秋津川近傍の軟弱地盤と段丘面とで大きく異なっていることも考えられ、その影響もある可能性があり、今後の検討が必要である。

## 6. 阿蘇のカルデラ内で発生した陥没に関して

阿蘇のカルデラ内では内牧温泉を含む広い範囲で局所的に帯状に陥没(グラバーンと呼ぶべきであろう)が発生した。図11に筆者達が見た陥没発生箇所を示すが、これ以外にも小規模なものが発生している可能性がある。写真21～24に陥没の発生状況を示す。陥没の量は50cm～1.5m程度で、幅は数十m程度が多いがさらに幅が広い所もあった。陥没箇所では噴砂らしきものは見あたらず、液状化には起因しないと考えられる。陥没により段差が出来た上にあつた低層建物はギロチン状に変形したり、基礎が強いものは、ガラス窓も割れず傾いていた。また、道路は勿論、埋設管、河川の護岸、送電鉄塔が段差により被害を受けていた。陥没発生箇所は外輪山からカルデラ内にはいった軟弱地盤に位置し、近くのお墓の墓石もあまり倒れていなく、震動はあまり大きくなかったのではないかと考えられる。

さて、このような陥没が発生したメカニズムとしては以下のようなものが挙げられよう。

- ①別府一島原地溝帯に関係した南北方向の引張り力による正断層型の落ち込みにより発生した。
- ②カルデラの縁から内側に基盤が急に落ち込んでいる地区のため、表層の軟弱層の厚さも急増する箇所





図 11 阿蘇のカルデラ内で帯状の陥没が見られた箇所



写真 21 地点②における護岸の被災状況



写真 22 地点③における陥没と建物傾斜状況



写真 23 地点⑤における陥没状況



写真 24 地点⑥における陥没状況

であり、地震動で体積圧縮した量が部分的に異なり段差が発生した。または、カルデラの陥没に伴い表層内にも正断層型のずれが生じかけていたところに地震が襲い、表層までずれが及んで段差が発生した。③横ずれ雁行断層により局所的に陥没が発生した。

これらのうち②に近いメカニズムで段差が発生したと考えられる事例がある。1985年に発生したメキシコ地震の際、カルデラの縁に位置するグスマンで線状の段差が発生したが、そのメカニズムが②でないかと考えている<sup>5)</sup>。ただし、このメカニズムだと1mや1.5mもの沈下が発生するかどうかは疑問に思われる。また、スパッと切れたような段差が発生したり帯状に陥没するようなことは生じなく、沈下した地表面はなだらかな勾配になるのではないかと考えられる。③に関して、筆者の一人は2001年クンルン山地震の際に横ずれ断層によって発生した陥没を現地調査したことがある。そこでは横ずれ雁行断層によって局所的に陥没が発生していたが、今回のような帯状の細長いものではなかった。今回の陥没箇所を横切る道路も横にずれていないので③でもないと思われるが、この現象も少しは加わっているかもしれない。これらにより、今回の陥没は①による正断層形の落ち込みによって発生したのではないかと考えられる。なお、過去にこの地区で掘削された時に、表層に断層面が見られたことが須藤らにより報告されており<sup>6)</sup>、過去にも同様の陥没が発生していたのではないかと推察される。

## 7. まとめ

2016年4月に発生した熊本地震に対し、本震直後と3週間後、2か月半後に現地調査を行った。その結果、液状化など種々の地盤関係の被害が発生し、過去の被害と比べて特徴的な被害も見られた。特徴的であったことを挙げると以下になる。なお、地震から3か月後に本稿を書いており、まだ地盤データも入手していない段階の速報であることをお断りしたい。

(1) 地盤関係の被害としては、液状化による建造物の被害、斜面崩壊、造成宅地盛土の変状、河川堤防の沈下、道路の盛土の沈下および法面崩壊が広い範囲で発生したが、さらに橋梁取り付け部の段差が多く発生し、地表断層および陥没、鉦さい集積場の法面のすべりも発生した。

(2) 治水地形分類上自然堤防と分類されている地区で、50～100m程度の幅細い帯状に約5kmにわたって液状化が発生し、多くの低層建物が沈下・傾斜した。

(3) 阿蘇のカルデラ内で局所的に帯状に陥没が発生し、家屋などが被害を受けた。

## 謝 辞

本調査には多くの方々のご協力をいただいた。特に基礎地盤コンサルタンツ㈱の田上裕氏・伊東周作氏・白井康夫氏など、地盤工学会調査団関係の永瀬英生教授（九工大）・村上哲教授（福岡大学）・椋木俊文准教授（熊本大学）・石蔵良平助教（九州大学）には現地調査に同行させていただいた。また、本研究にはJSPS科研費基盤研究(C)26420487の補助を受けている。未筆ながら記して御礼申し上げる次第である。

## 参考文献

- 1) 防災科学技術研究所：平成28年（2016年）熊本地震液状化調査報告（第1報）、  
[http://www.bosai.go.jp/saigai/2016/pdf/20160428-0501\\_0511-0512.pdf](http://www.bosai.go.jp/saigai/2016/pdf/20160428-0501_0511-0512.pdf)、(参照2016-07-20)
- 2) 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）土砂崩壊地分布図、  
<http://www.gsi.go.jp/common/000140096.pdf>、(参照2016-07-20)
- 3) 熊本市水保全課：平成6年度熊本地域地下水総合調査報告書、1995年、p.4.
- 4) 国土交通省九州地方整備局熊本河川国道事務所：第1回緑川・白川堤防調査委員会資料、2016年.
- 5) 三村長二郎・安田進・大町達夫・河村眞・中村豊：1985年メキシコ地震による被害と地盤の関係、第41回土木学会年次学術研究発表会、Ⅲ、1986年、pp.35-36.
- 6) 須藤靖明・池辺伸一郎：阿蘇カルデラで見いだされた落差1mの新鮮な活断層と最近の地震活動、京都大学防災研究所年報、第44号B-1、2001年、pp.345-352.