

# 2016年熊本地震による 住宅の液状化被害に関する調査的研究

芹川 由布子<sup>1</sup>・Hendra Setiawan<sup>2</sup>・中村 満<sup>3</sup>・宮島 昌克<sup>4</sup>・吉田 雅穂<sup>5</sup>

<sup>1</sup>学生会員 金沢大学大学院自然科学研究科 博士前期課程 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: bunka.h22@gmail.com

<sup>2</sup>非会員 金沢大学大学院自然科学研究科 博士後期課程 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: hendra3909@gmail.com

<sup>3</sup>非会員 金沢大学大学院自然科学研究科 博士後期課程 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: mitsuru.nakamura@toyosk.co.jp

<sup>4</sup>正会員 金沢大学教授 理工研究域環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: miyajima@se.kanazawa-u.ac.jp

<sup>5</sup>正会員 福井工業高等専門学校教授 環境都市工学科 (〒916-8507 福井県鯖江市下司町)

E-mail: masaho@fukui-nct.ac.jp

2011年東日本大震災では、多くの住宅が液状化により傾斜し住人に健康障害があらわれた。家屋の傾斜が人々の生活や健康に与える影響は大きいことから、液状化による家屋の傾斜被害について明らかにすることが重要であると考え2016年熊本地震発生後に、液状化発生地域における現地調査を行った。熊本県熊本市の河川流域に位置する東区・南区を対象とし、家屋の傾斜方向と傾斜角度を測定した。微地形区分や付近のボーリングデータと被害の程度を比較し、液状化の発生状況や要因について考察した。また、これらの調査結果を地図上に示すことで、家屋の傾斜の大小については家屋の造りに関係するものもみられたが、河川方向に傾斜している傾向があることから家屋の傾斜方向は地形との関係があることがわかった。

**Key Words :** *the 2016 Kumamoto earthquake, liquefaction, inclination angle, residential house*

## 1. はじめに

2016年4月の熊本地震では、熊本県熊本市の広い範囲で液状化が発生し、戸建住宅における不同沈下が深刻な問題となっている。不同沈下の形態は、建物が全体的に傾斜し建物自体に変形が生じない一体傾斜と、建物が部分的に傾斜し建物自体に変形が生じる変形傾斜というように大きく2つに分類される。地震動により建物の部材や基礎が破壊された場合は変形傾斜が生じるが、液状化被害を受けた建物は主に一体傾斜が生じる。これにより、居住者に健康障害があらわれ、住宅としての使用性や機能性の損失にも繋がる。1964年6月16日に発生した新潟地震以降、これまでに多くの研究者が液状化被害について研究している。その中で、液状化により傾斜した建物の居住者や利用者の健康障害、傾斜に対する感覚を研究しているものがいくつかある。既往の研究では、傾斜被害が健康状態に及ぼす影響について明らかとなっており、傾斜角が1/100 (0.6°)を超えると次第にめまいなどが発生

し<sup>1)</sup>、生活に支障が現れるので水平化復元工事をせざるを得なかったことなどが分かった<sup>2)</sup>。

2011年東日本大震災では、多くの住宅が液状化により傾斜し、住人に健康障害があらわれた。これまでは噴砂の発生範囲や沈下量の程度により液状化被害についての評価が行われてきたが、家屋の傾斜が人々の生活や健康に与える影響は大きく、液状化による家屋の傾斜被害について明らかにすることが重要であると考え。そこで本研究では、熊本地震の際に液状化被害が多く報告された熊本市の南区・東区を対象とし、家屋の傾斜量の測定およびヒアリング調査、外観調査などの現地調査を行った。計68棟の家屋の傾斜方向・傾斜角度の測定結果を地図上に示し、液状化による傾斜被害についての考察を行う。また、現地調査前には、調査対象地における地盤のボーリングデータより液状化危険度の判定を行う。地盤状況と被害状況に加え構造物の形式にも着目して考察を行い、液状化による傾斜被害の実状と要因を明らかにすることを目的とする。

## 2. 2016年熊本地震の概要<sup>3)</sup>

4月14日21時26分に熊本県熊本地方の深さ11km地点においてマグニチュード6.5の地震が発生した。また、4月16日01時25分に同地方の深さ12kmでマグニチュード7.3の地震が発生した。地震発生から本震までは比較的少ないペースの余震回数だったが、本震発生後は余震の間隔が短いということが特徴として挙げられる。また、益城町では14日の前震、16日の本震ともに震度7を記録しており、同地点で震度7を2回観測という事例はなく史上初となった。

これらの地震により熊本市内では、写真-1に示すような液状化による地盤亀裂、建物や電柱の沈下、マンホールの浮上、噴砂など数多くの被害が発生した。熊本地震における地盤の液状化は、熊本平野とその周辺部の玉名、八代の両平野および阿蘇カルデラ内の平地で発生し、震度6以上が観測された熊本県玉名市、熊本市中央区・西区・東区・南区、宇土市、宇城市、八代市、嘉島町、御船町、甲佐町、益城町の9市町で液状化(噴砂)が確認された。図-1は若松らの現地調査によって確認された熊本平野における液状化発生地点である<sup>4)</sup>。赤い点が記されている箇所では液状化による噴砂被害が確認された。



写真-1 液状化による地盤沈下



図-1 液状化確認地点<sup>4)</sup>

## 3. 現地調査の結果

### (1) 調査概要

熊本市内における液状化発生地域を調査対象地とし、特に家屋の傾斜被害が顕著であった熊本市東区秋津(間島団地)、南区近見・刈草の計68棟の家屋の傾斜量を調査した。調査日は、5月28日に秋津、30日に近見・刈草であり、図-2に調査対象地の位置関係を示す。本調査では、以下の内容に関する調査・情報収集を行うことを目的とする。

- ・家屋の傾斜量の測定
- ・家屋の構造形式と損壊状況の観察
- ・地震時の状況についてのヒアリング

これらの結果を基に、地盤状況や建物の構造形式が家屋の傾斜被害に及ぼす影響を考察し、被害状況を明らかにする。また、家屋の外壁を測定する際に住人が在宅の場合は、地震時の噴砂状況や住んでいて不快感はないか、今後の液状化対策についてなどヒアリング調査を行った。調査中に出会った住民の方にも話を伺い、20件程度の液状化に関する回答が得られた。

### (2) 測定方法

現地調査では、レーザー距離計(Leica DISTO D510)の傾斜面測定機能を用いて、図-3に示す家屋の外壁8箇



図-2 調査対象地(Googleマップ)

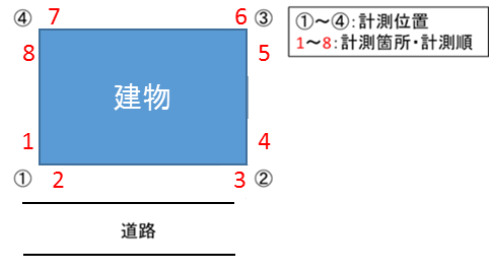


図-3 家屋の計測位置・計測箇所

所の傾斜量を測定した。測定方法としては、家屋の外壁(傾斜面)に距離計本体を密着させ、表示される傾斜角の測定値を1/10まで読み傾斜量の値とした。傾斜量については、鉛直90.0°の場合を被害なしと定義し、測定者側(手前)への傾斜をプラス、反対側への傾斜をマイナスとし、家屋の傾斜量と傾斜方向を記録した。塀や植栽などにより4辺すべてを測れない場合は測れる箇所のみ

計測を行った。

### (3) 調査対象地の地盤状況

今回の地震において、甚大な液状化被害が発生し、調査対象地区とした熊本市東区秋津町、南区近見・刈草のボーリングデータ<sup>5)</sup>および微地形分類図を用いて地盤状況の考察を行う。

土質区分、 $N$ 値をもとに $F_L$ 値を算出し地盤の液状化危険度を判定する。なお、 $F_L$ 値とは液状化に対する抵抗率であり、液状化可能性の評価については「道路橋示方書(V耐震設計編)・同解説」に準じる手法を採用した。 $F_L$ 値は動的せん断強度比を地震時せん断応力比で除した値であるため、この値が1.0以下の土層については液状化が生じると判定する。また、ボーリング地点での強震記録観測がないため、ここでは液状化危険度を定性的に判断するため設計水平震度 $K_{hgl}=0.3$ を用いる。QuiQuake地震動マップ即時推定システムより公表された地震動マップ<sup>6)</sup>によると、該当地域の地表面最大加速度は500~600galであるが、この値を用いて液状化判定を行うとほとんどの層で $F_L=1.0$ を下回る結果となるため、実際の加速度よりも小さい値を使用し地盤内部での液状化危険度を相対的に判定した。

図-4に秋津におけるボーリングデータの位置とボーリング柱状図を示す。地下水位は2.0mと浅く、6.2m地点まで盛土層であり、以深は砂質シルト・シルト混じり砂となっていた。10mまでのデータしか存在していないが、盛土・砂層で構成されていることがわかり、 $N$ 値からは非常に緩い地盤が続いていることが読み取れる。図-5に近見・刈草におけるボーリングデータの位置とボーリング柱状図を示す。地下水位は2.15mと浅く、1.5mの深さまで埋立層となっている。20mの地点までは、シルト混じり砂・砂混じりシルトのみで構成されており、表層付近の $N$ 値も非常に小さい。

図-6に秋津、近見・刈草における $F_L$ 値の算出結果を示す。秋津については、表層から約5m地点までの盛土層では $F_L=1$ を上回っているため液状化の危険性が低いという結果となった。しかし、約6mより深い砂質シルト層や砂層では $F_L=1$ を下回る層が続いているため、上層に比べると液状化の危険性が高いことがわかった。近見・刈草については、表層より深さ約13mに位置するシルト混じり砂の層では、液状化の危険性が低いという結果となった。しかし、表層から約12.5mまでの層では液状化の危険性が高くなっている。このように表層付近に液状化の危険性が高い軟弱な土層が存在する場合は、液状化地盤が構造物の傾斜に影響を及ぼすと考えられる。

また、J-SHIS地震ハザードステーション<sup>7)</sup>で公開されている熊本市の微地形区分を熊本市の地図に重ね合わせたものを図-7に示す。微地形区分とは、地盤の成因、形

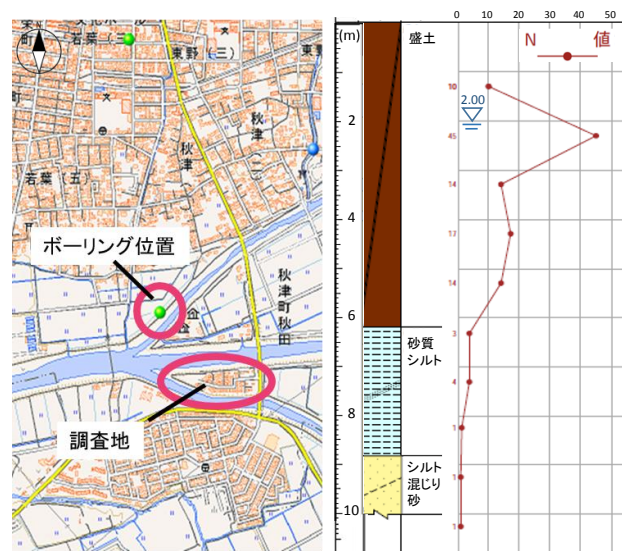


図-4 ボーリングデータの位置と柱状図<sup>5)</sup> (秋津)



図-5 ボーリングデータの位置と柱状図<sup>5)</sup> (近見・刈草)

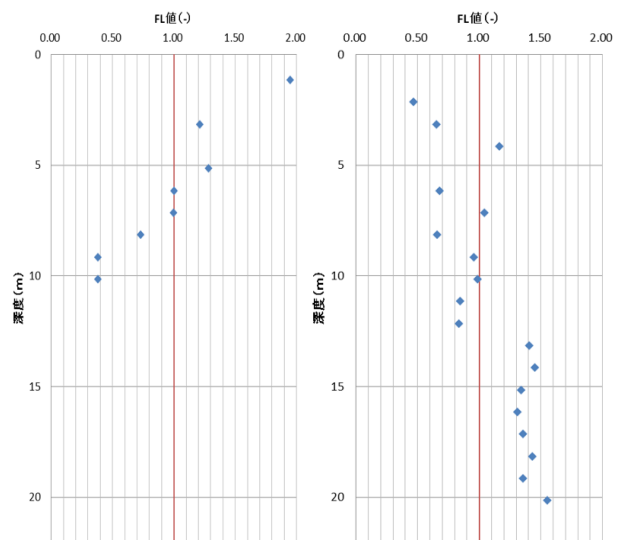


図-6  $F_L$ 値算出結果 (左:秋津, 右:近見・刈草)

態、構成する物質、形成時代がそれぞれの基準の中において等質となるものをまとめた単位であり地盤の構成と密接な関係がある。過去の地震において、液状化発生の



難易と相関があることがわかっているため、微地形区分は液状化評価に用いることが可能である。同図より、秋津の微地形区分は後背湿地、近見・刈草は自然堤防と後背湿地であることがわかる。松岡らの液状化発生確率の予測によると、後背湿地は「計測震度5.4付近で液状化するが、震度が大きくなっても発生確率はあまり上がらない」、自然堤防は「計測震度5.0付近で液状化が発生し始める」ということが明らかとなっている<sup>8)</sup>。対象地域の計測震度は明らかでないが、秋津に最も近い熊本市東区佐土原の観測記録によると設計震度は6.0<sup>9)</sup>となっており、後背湿地の液状化の発生条件に近い値であったことがわかる。近見・刈草に最も近い熊本市南区域南町の設計震度は5.9<sup>9)</sup>となっており、液状化の発生確率が高いことがわかる。これより、微地形区分からもこれらの地域は液状化しやすい地盤であったといえる。

(4) 計測結果

a) 秋津町

秋津町間島団地の住宅8棟を調査対象とした。間島団地は堤防沿いに位置しており、道路を挟んで北側に河川がある。

図-8に秋津間島団地における家屋の傾斜量計測結果を示す。傾斜角度を0.5°ごとに色分けして地図上に示し、傾斜の大きい2方向についてベクトル合成を行い、傾斜方向を矢印で表した。このとき、最大傾斜量と合成を行う傾斜量が0.5°未満であった場合はベクトル合成を行わず、最大傾斜の方向のみを示した。写真-2は地震前後の家屋の様子であり、写真の右側(家屋の前面)に川が流れている。地震後は家屋が河川の方に大きく傾斜していることがわかる。護岸堤防には写真-3に示すよう河川に並行な亀裂が入っており、噴砂も確認されたため河川付近の地盤で側方流動が生じたと考えられる。この団地の家屋は河川方向に傾いているものが多く、構造物直下の地盤だけでなく、河川付近の地盤や家屋の前面に位置する道路側の地盤も液状化したことでこのような被害が生じたと考えられる。

また、隣接する家屋は同じ方向に傾斜している傾向がある。中でも被害が大きかった2棟付近に着目し、構造形式と建物被害について表-1にまとめた。A棟については北側に3.6°、東側に3.7°傾斜しており、応急危険度判定士による応急危険度判定では危険となっていた。北側の地盤沈下が顕著であり、杭基礎のズレも生じていた。C棟、D棟に関しても北側の地盤沈下がみられ、同様に傾斜していた。B棟は、地盤沈下は生じていたが、基礎のズレはなく傾斜の程度も軽微であった。また、B棟には基礎杭が打たれており、その基礎杭の杭頭を目視で調べたところ無被害であった。これより、基礎形式も傾斜の程度に関係していると考えられる。

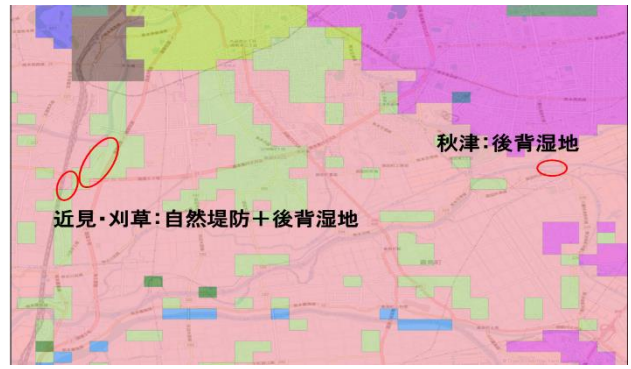


図-7 熊本市の微地形分類図<sup>7)</sup>



図-8 計測結果(秋津)



左:地震前(Googleストリートビュー), 右:地震後

写真-2 地震前後の家屋の様子



写真-3 護岸の側方流動

表-1 家屋の構造形式と傾斜被害(秋津)

項目	A棟	B棟	C棟	D棟
写真				
構造形式(推定)	木造2階	鉄骨造2階(杭基礎)	木造2階	木造2階
危険度判定	危険	要注意	危険	危険
建物傾斜被害	北側(川方向)3.6度 東側へ3.7度傾斜	傾斜小(1度未満)	北側へ3.6度傾斜	北側へ1.5度 東側へ1.1度の傾斜

b) 近見・刈草

熊本市の南区白川の南方に位置する近見・刈草地区では、液状化被害が南北方向へ帯状に分布していた。この液状化の帯は日吉小学校周辺で、長さ5km、幅50~100mと広範囲に渡っており、地盤沈下や噴砂などの被害が発生した。そのため本研究では、大量の噴砂が確認された旧鹿兒島街道に沿って調査を行った。この通り沿いには幅1~2m程度の水路があり、この水路は県道51号線の南側では並行して2本見られる。南北に流れる水路沿いに液状化が発生したこと、また、道路脇に写真-4に示す橋の親柱が残されていたことから、旧河道が存在していたと考えられる。しかし、明治34年には既に鹿兒島街道は現在の位置にあり、最近の旧河道ではないことが明らかとなっている<sup>9)</sup>。白川南方には、近見・刈草の水路も含めて南北方向の水路が幾筋も存在している。したがって、この地域では北から南に向かう水脈に起因して液状化が発生したと考えられる。

図-9に近見地区における家屋の傾斜量計測結果を示す。ここでは、傾斜の大きな家屋が隣接しているという傾向がみられた。また、傾斜方向については、図の右下方向(南東)への傾斜が目立っていた。被害が大きく現れていた家屋付近に着目し、構造形式と建物被害について表-2にまとめた。ここでは、鉄骨造・木造どちらにおいても不同沈下が発生していた。このA~D棟については周辺の戸建住宅に比べ、建物の高さが高く、傾斜や破損が目立っていた。B棟とC棟については互いに引き寄せあうように北東方向、南東方向に傾斜していた。この2棟について、質量のバランスは外観からは明らかでないが、建物の形状が直方体であったため不均一ではないと推測される。どちらも家屋の後方にあたる東方向への傾斜が大きく噴砂も確認されたため、後方部の沈下によりこのような傾斜被害が生じたと考えられる。D棟については北側の壁部材が破壊しており、そのため傾斜量が大きく現れたと考えられる。

図-10に刈草地区における家屋の傾斜量計測結果を示す。近見地区と同様、東側への傾斜が多くみられた。刈草地区における構造形式と建物被害について表-3にまとめた。最も大きく傾斜していた建物はB棟であり、これは1階建てであった。目立った壁面や部材の損傷はなかったが、建物の周りに大量の噴砂の跡が残っていた。A, C, D棟についてはいずれも東側に傾斜している。

刈草地区には木造住宅が多く存在していたが、傾斜や損壊といった被害が発生していない家屋も多く存在していた。これより、微地形区分だけでなく、地盤の硬軟や地中の液状化層の分布にも着目し液状化による建物の傾斜被害について考察していくべきだといえる。また、傾斜被害を評価するには、基礎構造や形状・重量のバランスも大きく影響するため、地盤状況に加えて建物の情報



写真-4 近見橋の親柱

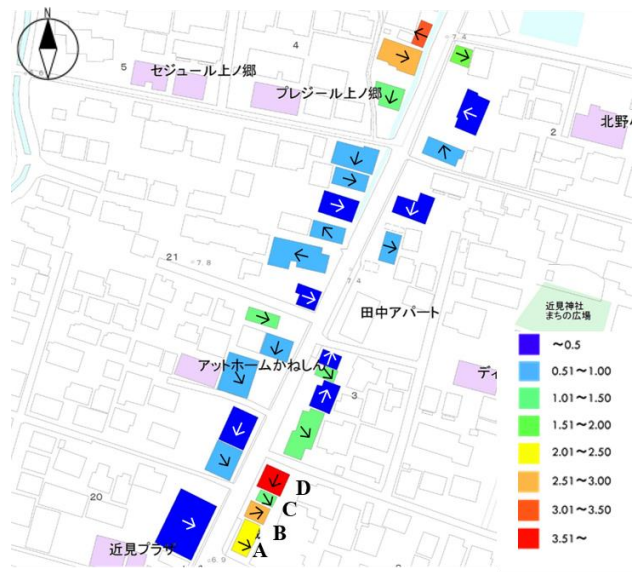


図-9 計測結果(近見)

表-2 家屋の構造形式と傾斜被害(近見)

項目	A棟	B棟	C棟	D棟
写真				
構造形式(推定)	鉄骨造3階	木造2階	鉄骨造3階	木造2階
危険度判定	危険	危険	危険	危険
建物 傾斜被害	東側(道路逆方向)へ2.1度傾斜	北側へ2.7度 東側へ1.7度傾斜 前面の部材破壊	南側へ1.3度 東側へ1.2度傾斜 一階部損壊	南側へ5.7度傾斜 北側の壁部材破壊 (部材損による傾斜)

も収集し被害との関係を考察する必要がある。

4. 考察

約5m以深に液状化の危険性が高い層が存在していた秋津では不同沈下や河川付近の側方流動により、家屋の傾斜被害が発生していることがわかった。近見・刈草では道路脇や家屋の周りに噴砂の跡が多く残っていた。水路の存在も確認されており、この地域の液状化の帯は北から南に向かう水脈により発生したと考えられる。これらの被害が発生していたことから、調査対象地における



地盤のボーリングデータをもとに行った液状化危険度判定の結果と被害状況に関してはおおよそ一致していたといえる。

また、外観調査から損壊が見られなかった家屋についても傾斜の大きな家屋は多く存在しており、ヒアリング調査では不快感があると回答した人が多く、既に空き家となっていた家屋もみられた。再液状化の危険性が高く対策の目処も立たないのであれば引っ越すことを考えるという意見も多かった。

図-11に傾斜角度別被害棟数の分布を示す。調査対象家屋の約25%は0.6°以下の傾斜であるが、残りの約75%は健康障害などに関係する傾斜量となっている。狭い範囲内の調査であったにも関わらず、このような被害のばらつきに大きな差が生じていることも問題の1つである。東日本大震災の際は、千葉県浦安市において甚大な液状化被害が広範囲にわたって発生し、その後の対策では格子状地盤改良工法といった大規模な液状化対策工法が採用された。一方、熊本市の液状化による建造物の被害は、広範囲にわたって発生しているのではなく、上記に示すような狭い範囲における限定的な被害であった。しかし、0.6°以上の傾斜により健康障害や生活に支障が現れることが確認されていることから、大規模な液状化に対する対策だけでなく、一軒一軒に焦点を当てた対策も必要であると考える。

## 5. おわりに

計 68 棟の家屋の傾斜を測定し、傾斜の最大値と傾斜方向を地図上に示した。今回は狭い範囲における調査であったが、その範囲内においても傾斜の程度には大きなばらつきがあることがわかった。これらの被害については、建造物の重量の違いによるものや基礎形式に関するものが多く見受けられた。河川方向や同じ方向に傾斜の傾向があったことから、傾斜方向は地形との関係があることがわかった。

また、本調査では外壁の傾斜量測定と外観調査を主に行ったが、今後は家屋の構造形式だけでなく基礎形式や直下の地盤状況についても調べ考察していく必要がある。

**謝辞**：現地調査では、日本海コンサルタント野村尚樹氏、国土開発センター七郎丸一孝氏の協力を得た。また、本研究は科学研究費補助金（研究種目：基礎研究(B)、課題番号：25289135、研究代表者：宮島昌克）の補助を受けて実施したものである。ここに記して謝意を表す。

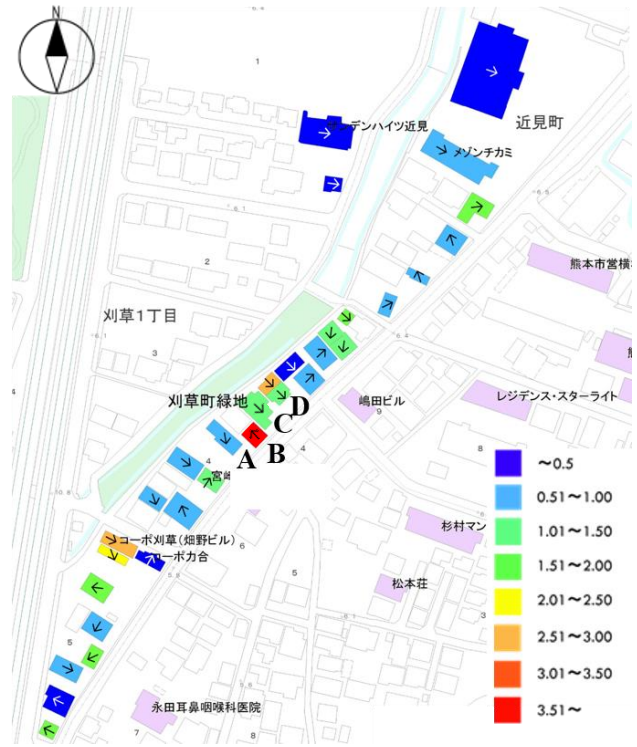


図-10 計測結果 (川草)

表-3 家屋の構造形式と傾斜被害 (川草)

項目	A棟	B棟	C棟	D棟
写真				
構造形式 (推定)	鉄骨造2階	木造1階	鉄骨造2階	木造2階
危険度判定	不明	不明	不明	不明
建物傾斜被害	傾斜小(1度未満)	西側(緑地方向)へ3.6度傾斜	東側(道路方向)へ1.3度傾斜	東側へ1.1度傾斜

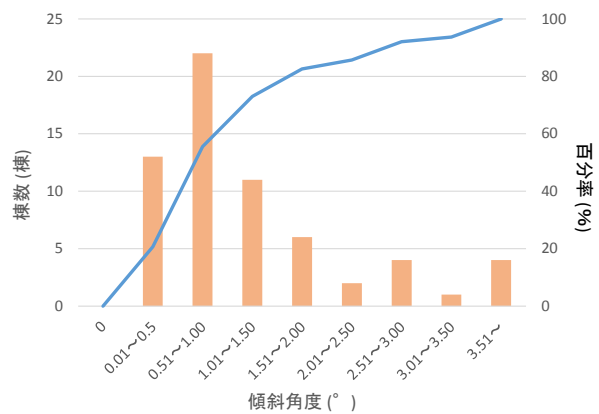


図-11 傾斜角度別被害棟数の分布

## 参考文献

- 1) 小檜山雅之, 系野智奈美, 園部隆夫: 千葉市美浜区における液状化被害を受けた住民への健康障害に関するヒアリング調査, 地域安全学会論文集, No. 17, p. 1, 2012.
- 2) 安田進, 橋本隆雄: 鳥取県西部地震における住宅の液状化による沈下について, 土木学会第 57 回年次学術講演会, pp. 1029-1030, 2002.

- 3) 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, pp. 1-3, 2016.
- 4) 若松加寿江, 先名重樹, 小澤京子：平成 28 年 (2016 年) 熊本地震液状化調査報告 (第 1 報), [http://committees.jsce.or.jp/eec205/system/files/liq\\_survey\\_2016kumamoto.pdf](http://committees.jsce.or.jp/eec205/system/files/liq_survey_2016kumamoto.pdf) (2016 年 5 月 25 日閲覧)
- 5) 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, <http://geonews.zenchiren.or.jp/2016KumamotoEQ/webgis/index.html> (2016 年 5 月 25 日閲覧)
- 6) QuiQuakeー地震動マップ即時推定システムー：<https://gbank.gsj.jp/QuiQuake/QuakeMap/20160416.html> (2016. 11. 4 受付, 2017. 3. 2 修正, 2017. 3. 7 受理)
- 7) 国立研究開発法人防災科学技術研究所：J-SHIS 地震ハザードステーション, <http://www.j-shis.bosai.go.jp/> (2016 年 5 月 25 日閲覧)
- 8) 松岡昌志, 若松加寿江, 橋本光史：地形・地盤分類 250m メッシュマップに基づく液状化危険度の推定手法, 日本地震工学会論文集, 第 11 巻, 第 2 号, pp. 20-39, 2011.
- 9) 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, p. 7, 2016.

## DAMAGE TO HOUSES AND BUILDINGS INDUCED BY LIQUEFACTION IN THE 2016 KUMAMOTO EARTHQUAKES IN JAPAN

Yuko SERIKAWA, Hendra SETIAWAN, Mitsuru NAKAMURA,  
Masakatsu MIYAJIMA and Masaho YOSHIDA

At 21:26 JST on April 14, 2016, an  $M_w$  6.2 earthquake struck Kumamoto city in Kyushu, Japan. Around twenty eight hours later, at 01:25 JST, an  $M_w$  7.0 stronger earthquake occurred, in the same area. Field investigation and inspection were conducted to study an effect of inclination of the house due to liquefaction to health problems of residents. An overview of liquefaction triggered by the 2016 Kumamoto earthquakes is presented, based on our reconnaissance investigations that conducted on May 27 – 30, 2016 in Kumamoto City and vicinity area. The tilt angle of 68 houses and buildings in liquefied sites of Kumamoto city was measured. Based on the measurements, the degree of inclination is seem to be related to the type of the houses and buildings. Furthermore, the tilt direction of the houses and buildings has a tendency associated with direction of old river slope. In addition, it is also found that the tilt direction of the houses and buildings is related to the terrain as well.