

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¹・Hendra Setiawan²・中村 満³・宮島 昌克⁴・吉田 雅穂⁵

¹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

²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

³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

⁴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

⁵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

2016 年熊本地震では住宅地で液状化被害が多発し、地震による液状化被害は深刻な問題となり、今後の安全な宅地供給を期待するとともに、液状化対策コストの低廉化を進めることが求められている。著者らは、液状化対策工法についての実験的研究を行っており、より実用的な工法の考案に繋げるため、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および旧河川とされている東区・南区について、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。

Keywords : the 2016 Kumamoto earthquake, liquefaction, shaking table test, 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。そこで、液状化の発生要因や被害状況を調べるため、液状化被害が多く報告されていた熊本市の南区・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などの現地調査を行った。計68棟の家屋の傾斜方向・傾斜の角度を測定した。

2011年東日本大震災の際も、東京湾沿岸部や利根川流域において甚大な液状化被害が発生し、安全な宅地供給を期待するとともに、液状化対策コストの低廉化を進められてきた。現在は、多くの企業および研究機関が新設ならびに既設の戸建住宅に対する液状化対策工法の開発に取り組んでいる^{例えは1), 2), 3)}。本研究室では丸太を液状化対策に利用することを提案しており、構造物の基礎

直下に丸太を打設することで液状化による沈下を抑制できること⁴⁾、は確認しているが、既設戸建住宅への対策については施工性、経済性、効果の実証など多くの問題が存在している状況である。そのため、今回の調査結果をもとに、液状化被害と地盤状況の関係を明らかにし、今後の戸建住宅における液状化対策工法の考案・開発に繋げることを目的とする。

2. 2016年熊本地震の概要⁵⁾

4月14日21時26分に熊本県熊本地方の深さ11kmでマグニチュード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。16日の地震を受け、14日を前震とし、16を本震となった。地震発生から本震までは比較的少



図-1 液状化確認地点^⑥



図-2 調査対象地



写真-1 液状化による地盤沈下

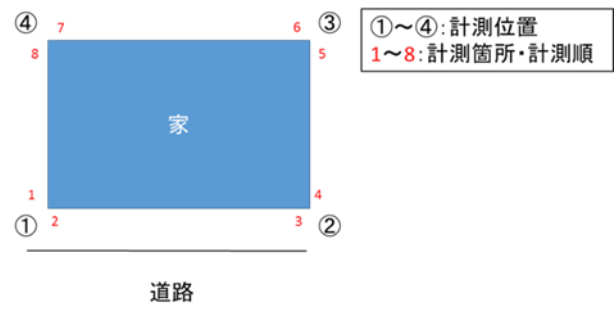


図-3 家屋の計測位置・計測箇所

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、液状化による亀裂、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。図-1に熊本市内の液状化地点^⑥を示す。赤丸が現地調査による液状化確認地点であり、噴砂の被害が発生していた。写真-1からは、液状化により地盤が沈下し家屋が傾斜していることがわかる。

3. 現地調査について

(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秋津町、近見・刈草地区の計68棟の家屋の傾斜量を調査した。図-2に調査対象地の位置関係を示す。本調査では、液状化による家屋の傾斜と地盤状況の関係を図り、地盤状況や構造形式が家屋被害に及ぼす影響を考察する。これらの結果をもとに液状化被害と地盤状況の関係を明らかにし、今後の戸建住宅における液状化対策工法の考案・開発に繋げることを目的とした。

また、訪問時に住人が在宅の場合は、住んでいて不快感はないか、地震時の噴砂状況、今後の液状化対策の有無についてなど住人に対してのヒアリング調査も積極的に行った。

(2) 測定方法

レーザー距離計 (Leica DISTO D510) を用いて、家屋の外壁8箇所の傾斜量を測定する。図-3に家屋の計測位置・計測箇所を示す。後ろに回れない箇所など4辺すべてを測れない場合は、測れる箇所のための計測を行った。測定値については、90度を傾斜なし、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、家屋の傾斜方向を表現した。

(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た熊本市東区秋津町、熊本市南区近見・刈草のボーリングデータ^⑦ および微地形分類図を用いて地盤状況の考察を行う。また、土質区分、N値をもとに設計水平震度 $K_{eq}=300$ におけるFL値を算出し、地盤の液状化危険度を判定する。

図-4に秋津町におけるボーリングデータの採取位置とFL値の算出結果を示す。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

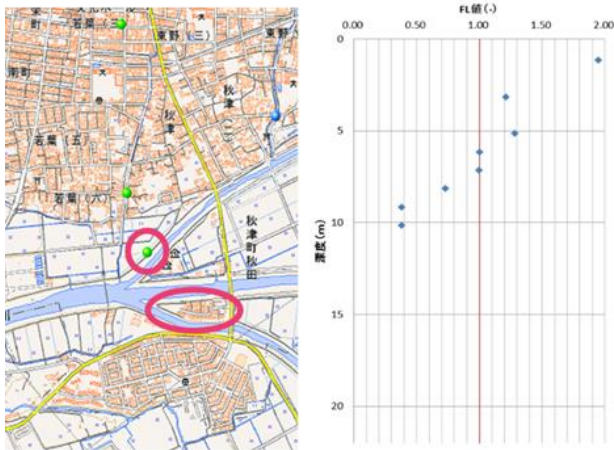


図-4 ボーリングデータ位置とFL値(秋津)

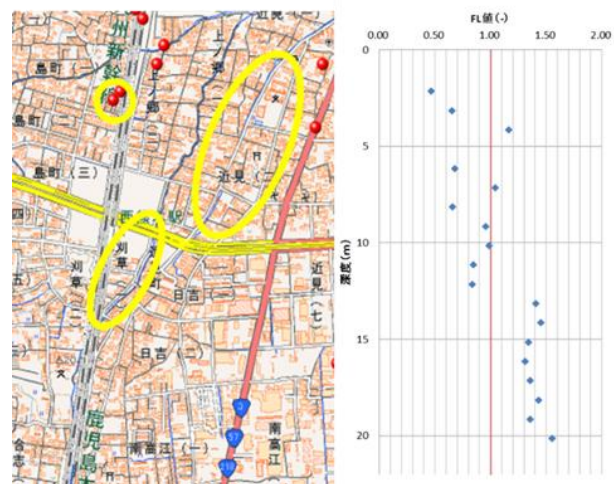


図-5 ボーリングデータ位置とFL値(近見・刈草)

値からは非常に緩い地盤であることが読み取れる。FL値の算出結果をみても、約5mにわたり液状化の危険性の高い層が存在していることがわかる。

図-5に近見・刈草地区におけるボーリングデータの採取位置とFL値の算出結果を示す。地下水位は2.15mと浅く、15m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値も非常に小さいため、こちらについても液状化の危険性が高い地盤であるといえる。

J-SIS地震ハザードステーションで公開されている熊本市の微地形区分を地図に重ね合わせ図-6に示す。秋津町は後背湿地、近見・刈草地区は自然堤防と後背湿地であることがわかる。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

①秋津町

秋津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。写真-2は地震前後の家屋の様子であり、写真の右側に川が流れている。地震後は家屋が不同

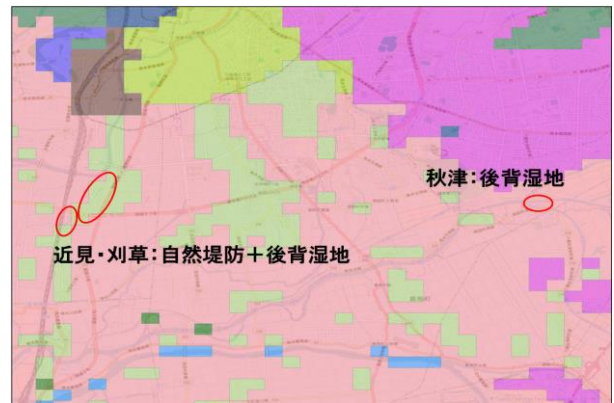


図-6 熊本市の微地形分類図



写真-2 地震前後の家屋の様子(不同沈下)



図-7 計測結果(秋津)

沈下し、大きく傾斜している。家屋は河川方向に傾いているものが多く、道路側の地盤が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。

図-7に秋津間島団地における家屋の傾斜量測定結果を示す。計測値を0.5度ごとに色分けし、傾斜の方向を矢印で表した。このエリアは図-6に示した微地形分類によると後背湿地となっており、河川背後地盤の側方流動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3.60度、東側に3.65度傾斜しており、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。これより、構造形式も傾斜の程度に関係していると考えられる。

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	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3.65度傾斜	傾斜小(1度未満)	北側へ3.55度傾斜	北側へ1.5度傾斜

表-1 家屋の構造形式と傾斜被害 (秋津)

②近見・刈草

熊本市の南区に位置する近見・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ため旧河川地域だったと推測されている。この液状化の帯は日吉小学校周辺で、長さ5km、幅50～100mと広範囲に渡り、地盤沈下や噴砂などの被害が発生した。道路脇には写真-3に示す橋の親柱が残されており、近見橋といった橋の名前が記されていた。これより、旧河川であったために甚大な液状化被害が発生したと考えられる。

図-8に近見地区における家屋の傾斜量測定結果を示す。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、どちらも図の右下方向(南東)への傾斜が目立っていることから、南東方向に河川が通っていたと考えられる。被害が大きくあらわ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の被害が発生していた。このA～D棟については周辺の戸建住宅に比べ、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傾斜していた。噴砂も多く発生していたため、構造物の重量・重心の位置が不同沈下の要因となったと考えられる。D棟については北側の壁部材が破壊されており、傾斜量が大きくなった。

図-8に刈草地区における家屋の傾斜量測定結果を示す。近見地区と同様、東側への家屋の傾斜が多くみられた。これより、旧河川は近見地区から南方向に続いていたと考えられる。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。

また、刈草地区には木造住宅も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かった。これより、微地形区分だけでなく、地盤を構成している土質にも着目し液状化による建物の傾斜について考察していくべきだといえる。



写真-3 近見橋の親柱



図-8 計測結果 (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(道路と逆方向)へ2.05度傾斜	北側へ2.7度傾斜 前面の部材破壊	南側へ1.3度傾斜 一階部損壊	南側へ5.7度傾斜 北側の壁部材破損

表-2 家屋の構造形式と傾斜被害 (近見)



図-8 計測結果 (刈草)

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	東側(道路方向)へ 傾斜(1度未満)	西側へ3.6度傾斜	東側へ1.3度傾斜	東側へ1.1度傾斜

表-3 家屋の構造形式と傾斜被害 (刈草)

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。これらの被害については、構造形式や階数に関するものもみられるが、河川方向に傾斜の傾向があることから傾斜方向は地形との関係性があることがわかった。傾斜の大きな家屋が隣接している傾向もあったため、今後は構造形式だけでなく基礎形式についても調べ考察していく必要がある。

また、今回は狭い範囲における調査であったが、傾斜の程度には大きなばらつきがあったため、微地形での判断だけでなく、地盤を構成している土質をより深く調べる必要があると考える。

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和孝の協力を得た。また、本研究は科学研究費補助金（研究種目：基盤研究(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る。

参考文献

- 1) 橋本隆雄, 清水敏孝, 森口剛：推進工法による液状化対策地下水位低下工法の実験検証, 第35回地震工学研究発表会講演論文集, 論文番号863, 2015.
- 2) 眞野英之, 社本康広, 吉成勝美：構造物外周に設けた礫層と基礎幅による既存構造物の液状化対策（その3）, 第49回地盤工学研究発表会平成27年度発表講演集, pp.1119-1120, 2014.
- 3) 吉田雅徳, 村田拓海, 井上広平, 宮島昌克, 沼田淳紀：丸太を用いた戸建て住宅の液状化対策に関する模型振動実験, 土木学会第67回年次学術講演会講演概要集, CS12-011, pp.21-22, 2012.
- 4) 沼田淳紀, 三輪滋, 水谷羊介, 三村佳織, 原忠, 坂部晃子, 池田浩明, RIAZ Saima：丸太打設液状化対策実証実験の概要, 土木学会第68回年次学術講演会講演概要集, V-032, pp.63-64, 2013.
- 5) 地震調査推進本部平成28年（2016年）熊本地震の評価, 2016.05.13.
- 6) 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）, pp3
- 7) 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>
(参照 2016/05/25)

(2016.9.2受付?)

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

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

At 21:26 JST on April 14, 2016, an Mw 6.2 earthquake struck Kumamoto city in Kyushu, Japan at a depth about 11 km. Around twenty eight hours later, at 01:25 JST, an Mw 7.0 stronger earthquake occurred, in the same area, at a depth of about 12 km. These disasters resulted in 49 fatalities, 1,747 injured, 152,760 houses were collapsed, whether totally damaged, half or slightly (Fire and Disaster Management Agency of Japan, 2016.7.1). Field investigation and inspection were conducted to study about liquefaction occurred and its impacts on buildings and houses, and infrastructures. 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.