

熊本地震の被害 2

－益城町の被害と地形や地質等との関係－

熊本県立第一高等学校 地学部

1. 要旨

2016年4月の熊本地震で最大震度7が2回連続して観測された益城町では、建物に甚大な被害が発生した。図1のように全壊や大規模半壊等の被害を受けた建物は、現在ほとんどが解体されて更地になっている。

昨年の「熊本地震の被害と防災意識」の研究結果から、住宅被害が地震動の強さだけでなく、建物の築年数や地形、地質等とも関係していることがわかった。そこで、益城町で被害が集中している地域と被害が少ない地域に分かれた原因を、地形や地質等の観点から調査研究した。

現地調査を行って住宅被害の分布を調べ、国土地理院発行の古地図や治水地形分類図、立体地図等と重ね合わせて、被害分布と建築年代や地形、地質等との関係について考察した。住宅被害の発生原因究明のため、地質調査や地震動実験を行い現地での聞き取り調査と合わせて考察した。

その結果、次のことがわかった。

○被害が集中する地域は段丘や段丘と低地の境界付近、低地の微高地で、耐震性の低い建物の古い町並みである。

○被害が少なかった地域は氾濫平野や旧河道、緩傾斜の段丘で、耐震性の高い建物の比較的新しい町並みである。

○地質調査や採取土壌の地震動実験等から次のように考察した。

- ・段丘やひな壇状造成地を構成する風化した阿蘇4火砕流の2次堆積物は、地下水を含むと緩くなり流動して造成地が地盤崩壊した。そのため、建物は大きな被害を受けた。実験では基盤や支持層の傾斜が大きいほど、また、堆積物の含水量が多いほど地震動が増幅した。
- ・低地の氾濫平野や旧河道を構成する粘土～細砂の堆積物は地下水を多く含み、地震で液化化が発生して地盤が均等に沈下した。そのため、建物の被害は小さかった。実験では堆積物が厚くなるほど地震動が減衰した。

現地での被害分布や地質調査と地形や地質、建築年代等との関係についての考察、現地の土壌を用いた実験による本研究は、今後も発生する大地震での被害縮小に貢献することができる。今後は本研究の手法を用いて、熊本市内の被害が大きくなった地域の実態や原因を明らかにしたい。



図1 益城町の平成29年10月時点の様子(手前は益城町を東西に走る県道)

2. 研究目的

- (1) 図2に示された熊本地震の一連の活動で、大きな被害があった益城町の被害実態を現地調査する。
- (2) 昨年の「熊本地震の被害と防災意識」の研究結果から、住宅被害の大きさは地震動の強さだけでなく、建物の建築年代や地形、地質等とも関係することがわかった。建物被害が集中している地域と少ない地域が現れた原因について、建築年代や地形、地質、断層等とどのように関係しているのかを検討する。
- (3) これらの研究結果を、今後の地震防災対策に生かす。

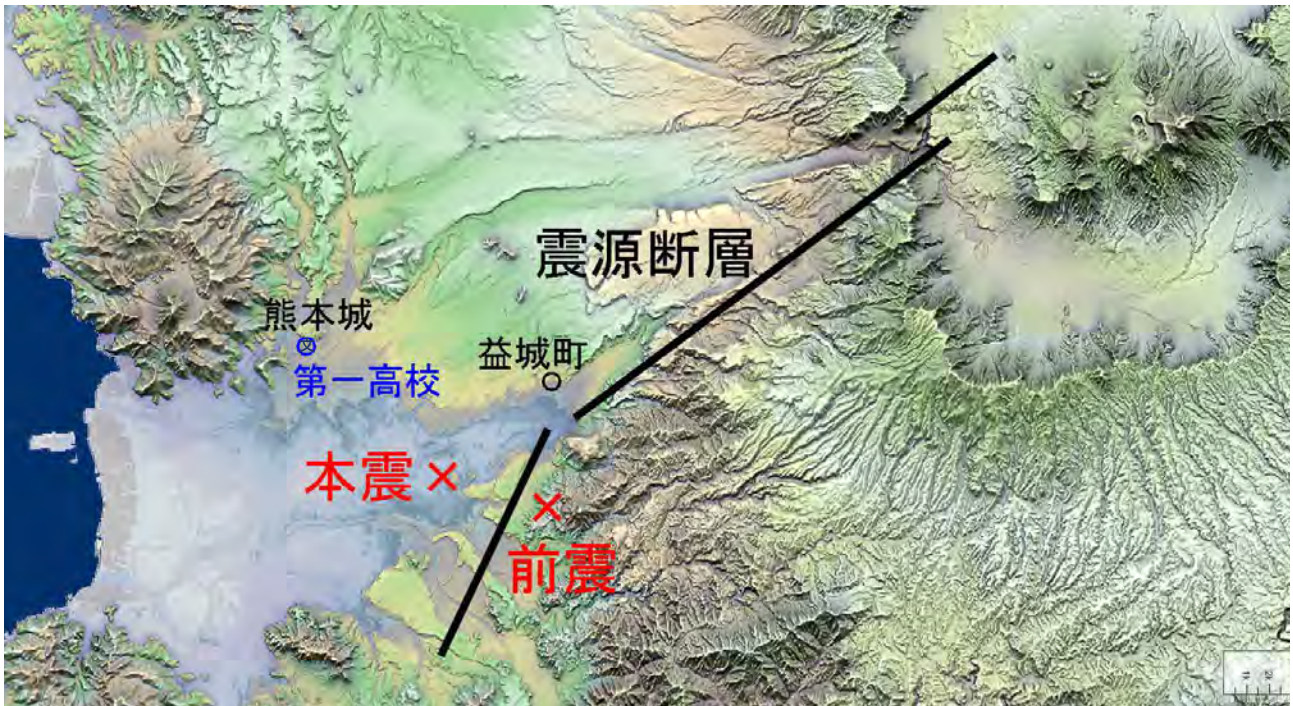


図2 熊本地震の前震と本震の震央や震源断層、益城町等の位置
(国土地理院の地理院地図をもとにカシミール3Dスーパー地形で作成)

3. 研究方法

- (1) 図3に示された調査域の、熊本地震による住宅被害程度を、平成29年7月中旬から10月中旬まで、国土地理院の地理院地図（1998年測量）をもとに現地調査した。また、住民や震災復旧工事の関係者から被害の実態等について聞き取り調査した。
- (2) 地理院地図に描かれた建物1棟毎に被害程度別に色を塗り、被害程度分布図を作成した。その際、納屋や車庫等は除いて住宅だけを被害調査した。分布図を50m毎にメッシュに区切り、その中の全住宅を大破、中破、小破といった被害程度毎に割合を調べ、大破率の程度により色分けして大破率分布図を作成した。分布図と国土地理院発行の古い地形図や治水地形分類図、多機能地図表示ソフト（カシミール3D）で作成した立体地図等と重ね合わせて、被害程度と建物の建築年代や地形、地質等との関係について考察した。
- (3) (2)からわかったことをもとに、益城町で被害が集中した地域と少ない地域が現れた原因について、現地の地質調査や現地で採取した土壌、地震発生装置（じしん君）、震度計となるiPhone等を用いて地震動の実験を行って調べた。
- (4) (2)や(3)の結果をもとに、被害が集中した地域と少ない地域が現れた原因について、建物の建築年代や地形、地質等の観点から考察した。

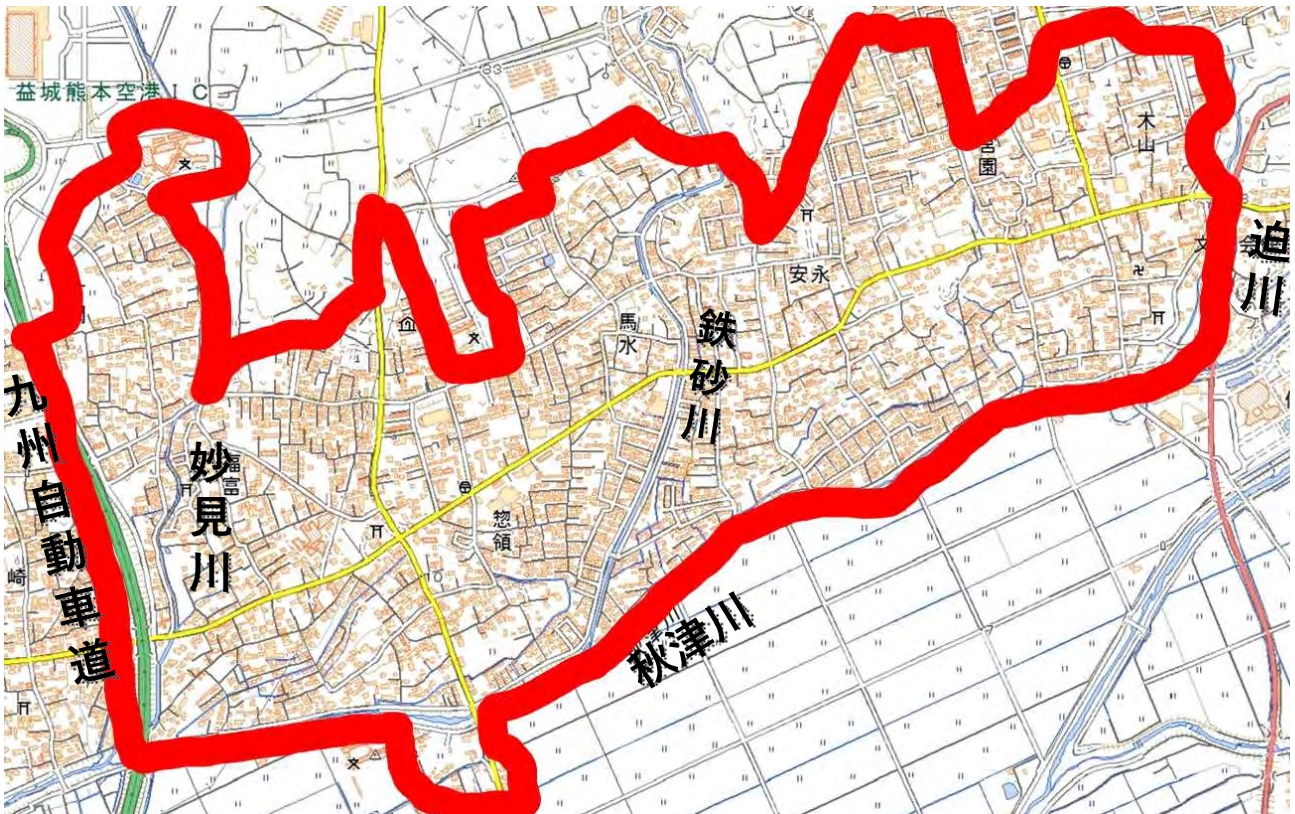


図3 益城町の被害調査地域

4. 結果

(1) 現地調査

調査期間は2017年7月中旬～10月中旬の休日と夏休みである。調査範囲は熊本県上益城郡益城町の福富、惣領、馬水、安永、宮園、木山の全ての建物である。図4に示すように、これらの住宅の熊本地震による被害程度を「赤：地震で破壊された住宅が解体されて現在更地」、「桃：地震後に建築中あるいは建築済みの住宅」、「橙：人が住んでおらず解体工事待ちの住宅」、「黄：人が住んでいるが、外観で壁にひびが入っていたり、屋根にブルーシートがかけられているなどの被害を受けている住宅」、「緑：ほとんど被害を受けていない住宅」の5種類に分類して調査した。

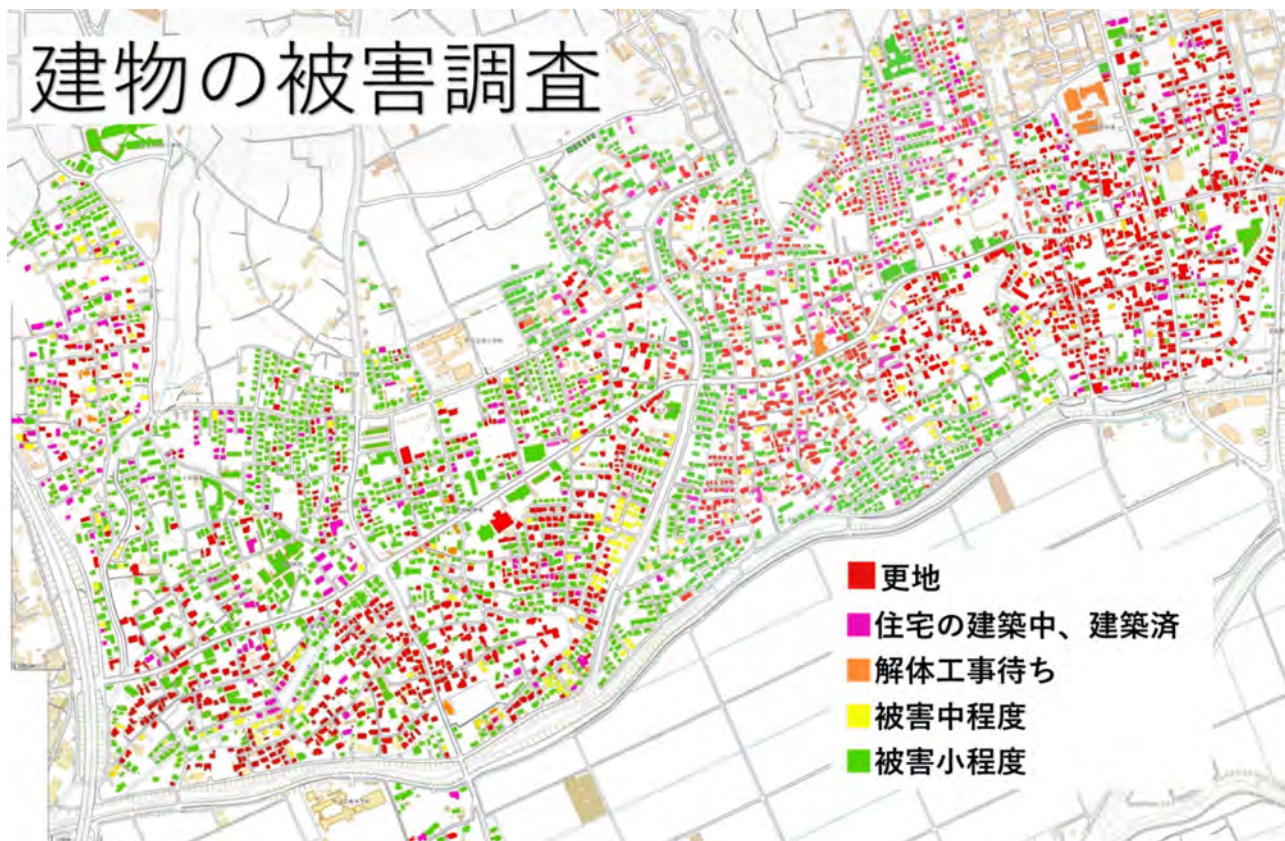


図4 益城町の住宅被害分布

図5に示すように調査地の建物総数は5313棟で、そのうち納屋や車庫等を除く住宅は4326軒であった。住宅被害のうち、赤色の更地と桃色の地震後に建築中あるいは建築済み、橙色の宅地の亀裂等で人が住んでおらず解体工事待ちの住宅をまとめて大破とした。黄色の人が住んでいるが、外観で壁にひびが入っていたり、屋根にブルーシートがかけられているなどの被害を受けており、応急工事等で住み続けているなど被害が中程度の住宅は中破、緑色の被害が小さい住宅を小破とした。調査地全体の平均で大破が47.9%、中破が4.6%、小破が47.6%であった。これらの3段階の被害程度で中破が極端に少ないのは、調査時点で修理がすでに済んでいる住宅が多く、中破と小破の差があまりわからなかったからである。そのため、大破を中心に研究を進めた。

益城町の建物被害調査（調査総数：5313 うち住宅4326軒）					
更地	住宅の建築中 ・建築済	解体工事待ち	被害中程度	被害小程度	住宅計
1636	376	58	197	2059	4326
調査地全体の被害率の平均					
大破			中破	小破	全体
47.9%			4.6%	47.6%	100%

図5 益城町の建物被害調査結果と調査地全体の平均被害率

図6に示すように、被害程度の分布と建築年数や地形、地質等との関係を調べるために、住宅被害分布図を50m毎のメッシュに区切り、枠内にある大破に該当する住宅の割合を大破率とした。大破率75%以上が紫色、50%以上が赤色、25%以上が橙色、25%未満が黄色、0%が緑色とした。

鉄砂川の東側や、西側で県道の南側の秋津川右岸に大破率75%以上のエリアが多く、被害が集中している。大破率分布図に様々な地図を重ね合わせて、被害が集中している地域や少ない地域はどのようなところかを調べた。

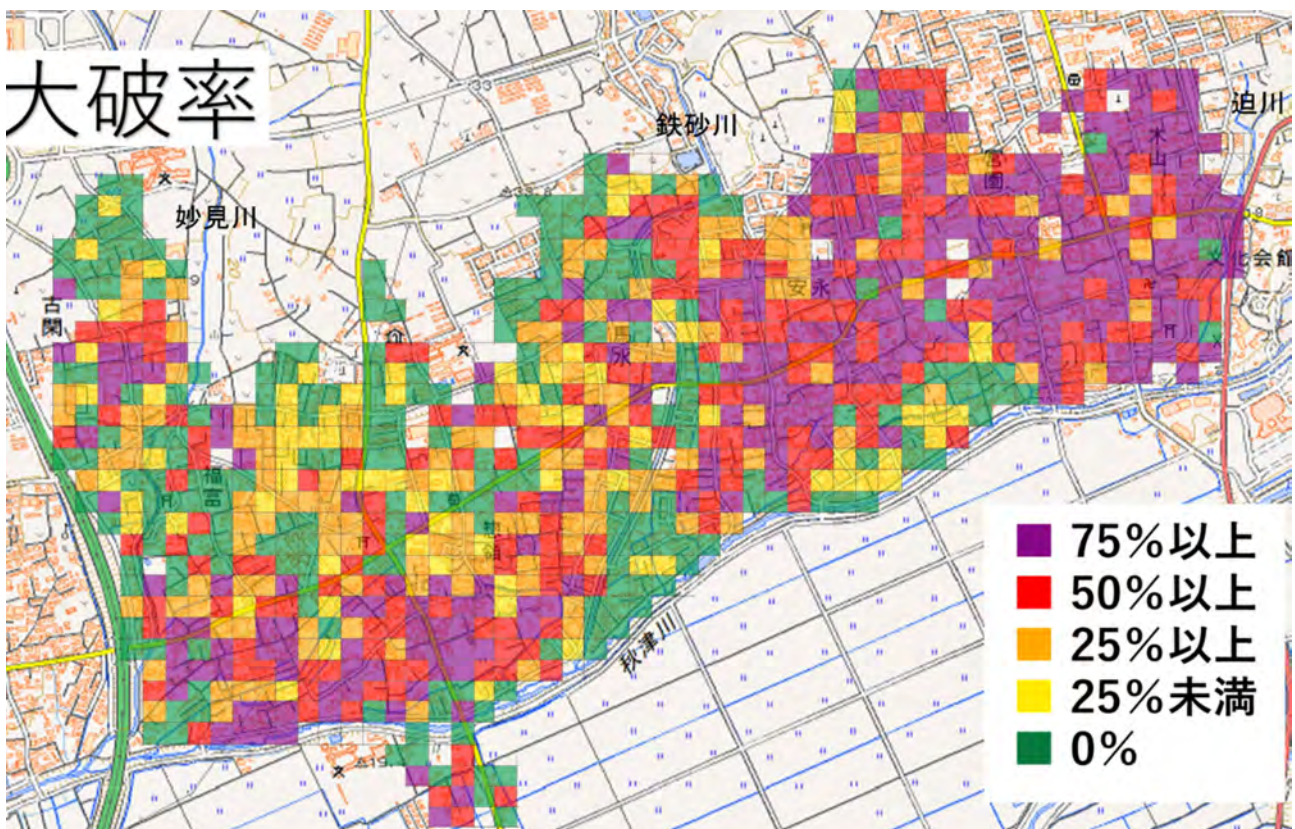


図6 住宅の大破率

(2) 住宅の被害程度と建築年代との関係

図7に示すように、1926年(大正15年)に測量された国土地理院の地形図と大破率75%以上のエリアを重ね合わせると、住宅が集中している鉄砂川の東側や、西側で県道の南側の秋津川右岸でよく重なっている。1926年測量の地形図に描かれている住宅は、現在は耐震性の低い古い住宅である。これらの古い町並みに被害が集中していることがわかった。しかし、鉄砂川の東側で県道の北側の住宅が無いところに大破率75%以上のエリアがある。住宅の被害が建築年数だけでなく、地形や地質等と関係している。

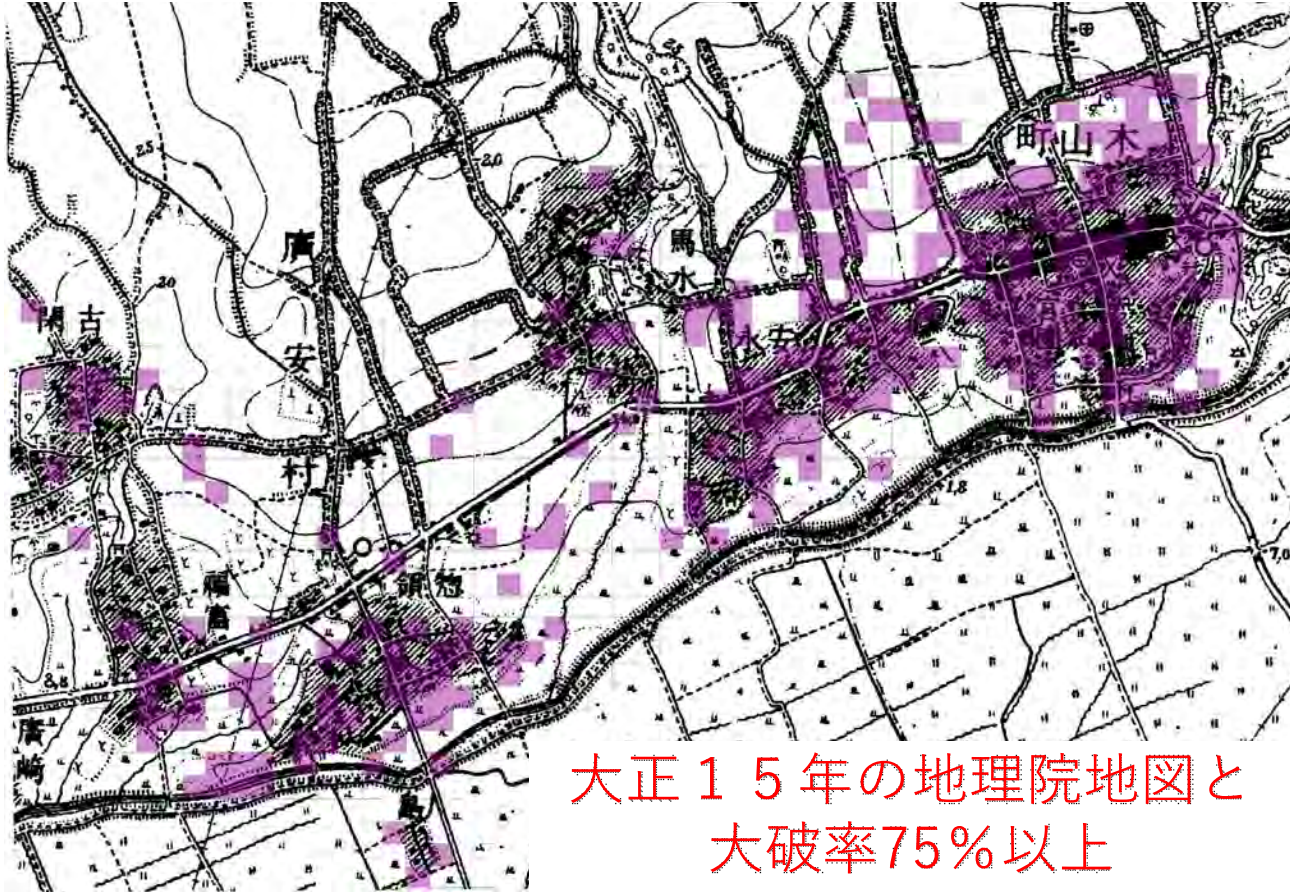


図7 大正15年測量の地形図と大破率75%以上のエリア

図8に示すように、1977年(昭和52年)測量の国土地理院の地形図と大破率50%以上と75%以上のエリアを重ね合わせると、鉄砂川の東側と、西側で県道の南側の秋津川右岸で住宅地とよく重なっている。この地図の測量後の1981年に住宅の耐震基準が引き上げられている。この地図に描かれた住宅は現在より耐震性が低く、被害が多く出ていることがわかった。また、図9に示すように、大破率0%のエリアと重ね合わせると、鉄砂川周辺や秋津川沿いの右岸で住宅が無い水田等とよく重なっている。現在これらの地域には耐震性の高い住宅が建てられており、被害が少なかったことがわかった。しかし、鉄砂川の西側で県道の北側では住宅地と被害率0%のエリアが重なる部分がある。これらの地域は住宅の築年数だけで、被害の程度が決まるものではなく、地形や地質等と関係している。

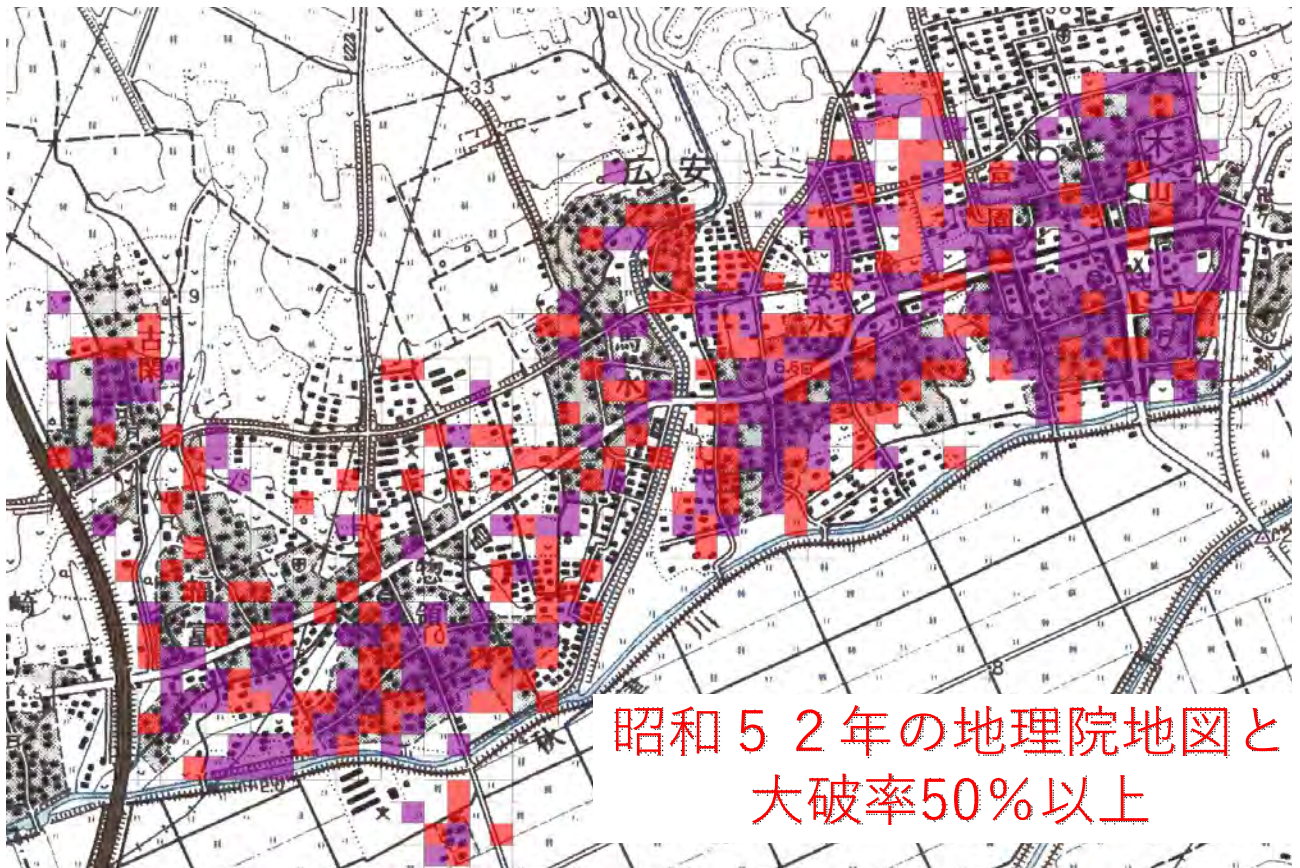


図8 昭和52年測量の地形図と大破率50%以上と75%以上のエリア

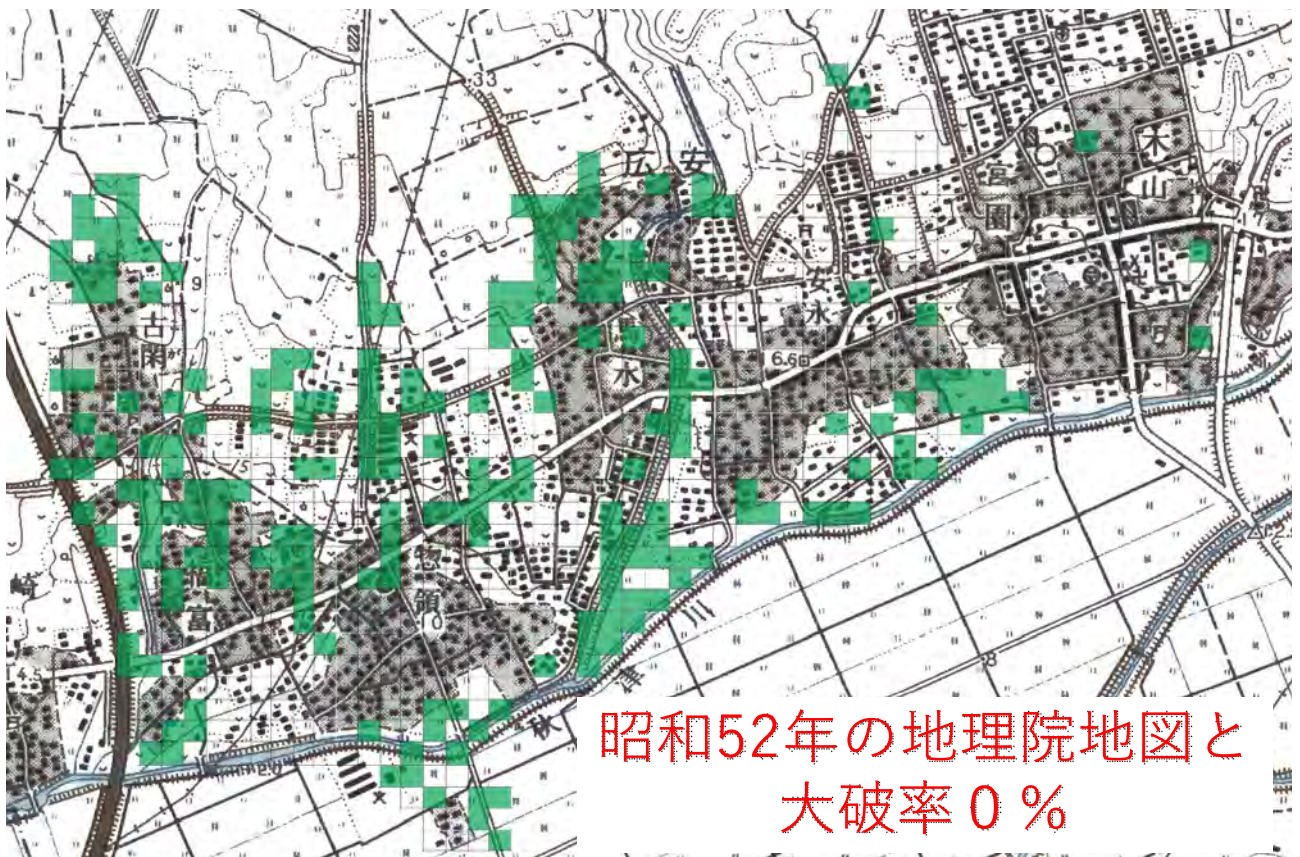


図9 昭和52年測量の地形図と大破率0%以上のエリア

(3) 住宅の被害程度と地形との関係

図 10 に示すように、国土地理院の治水地形分類図と大破率 75 % 以上のエリアを重ね合わせると、鉄砂川の東側で段丘や段丘と低地との境界、西側で低地の微高地に被害が集中している。図 11 に示すように、大破率 0 % のエリアと重ね合わせると、鉄砂川や妙見川の周辺や、秋津川右岸の氾濫平野や低地の旧河道では被害が少なくなっている。同じ段丘面でも被害が集中しているのは鉄砂川の東側で、西側は被害が少ない。

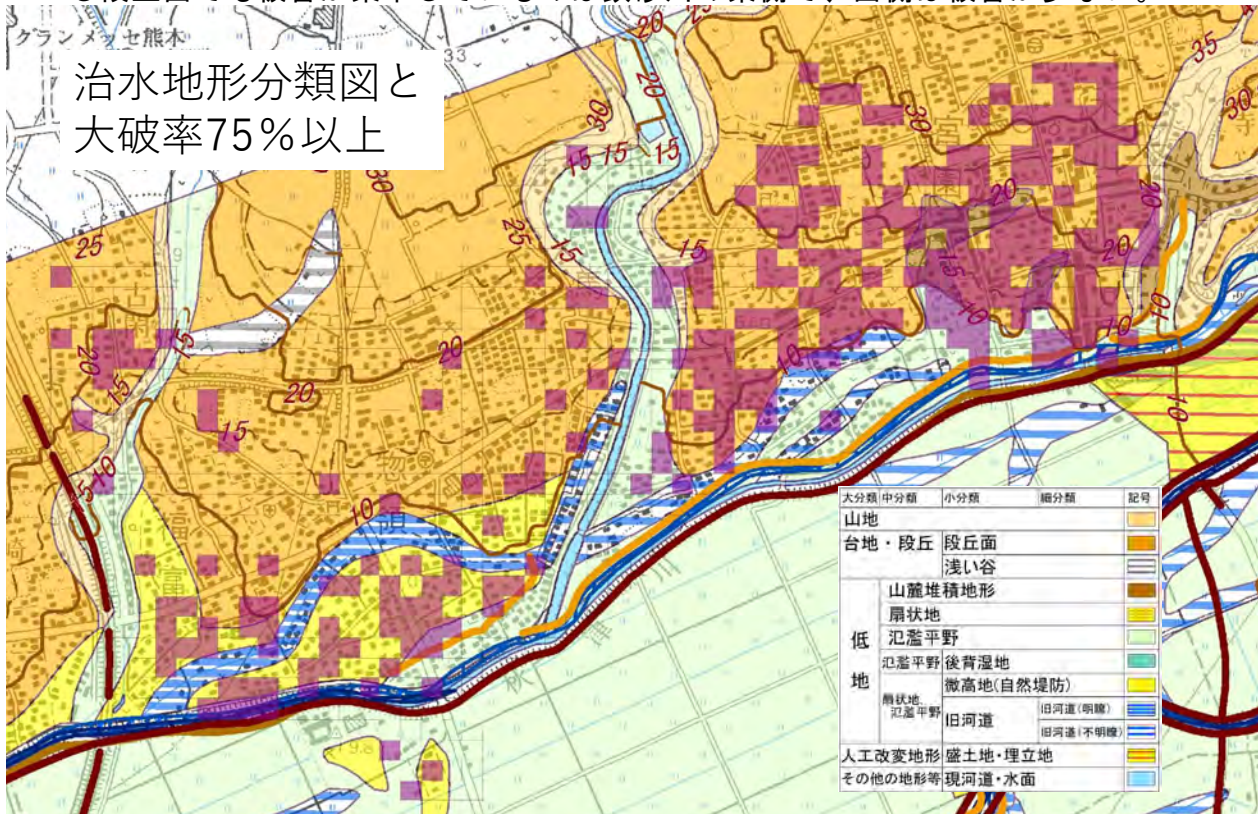
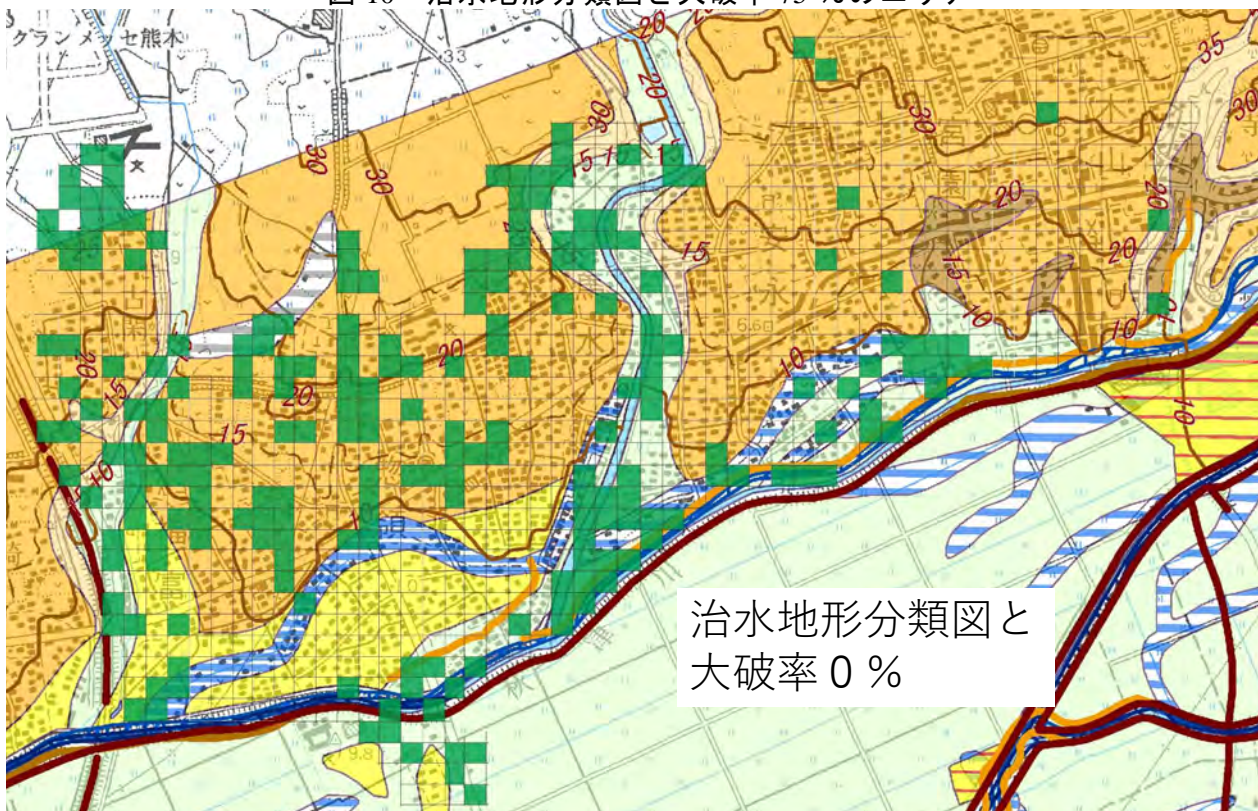


図 10 治水地形分類図と大破率 75 % のエリア



治水地形分類図と
大破率 0 %

図 11 治水地形分類図と大破率 0 % のエリア

図 12 に 3D 地図ナビゲータソフトのカシミール 3D スーパー地形を使って作成した立体地形図を示す。スーパー地形は国土地理院の基盤地図情報 5m と 10m メッシュを使用している。調査地は 5m メッシュで、高さの精度は 0.3m である。作成した高さを強調した立体地形図から、益城町の段丘面には斜面を人工的に改変したひな壇状の造成地が多く見られる。秋津川右岸の低地では旧河道も確認できる。

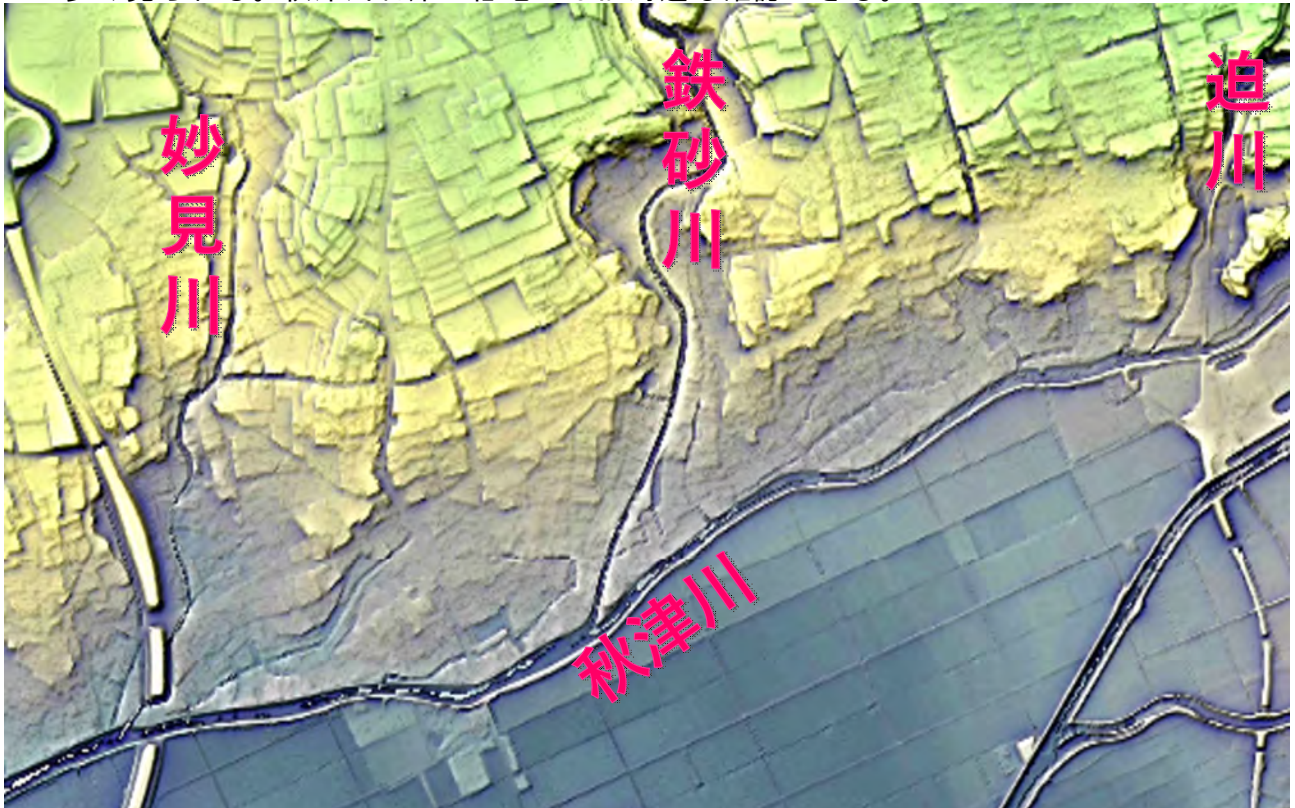


図 12 調査地の立体地形図（カシミール 3D スーパー地形で作成）

図 13 に立体地形図と大破率 75 %と 50 %以上のエリアを重ね合わせて示す。鉄砂川の東側と西側、鉄砂川沿いの低地をそれぞれ南北に切った断面図を作成した。断面図の幅はいずれも、秋津川左岸の川岸から 1 kmである。

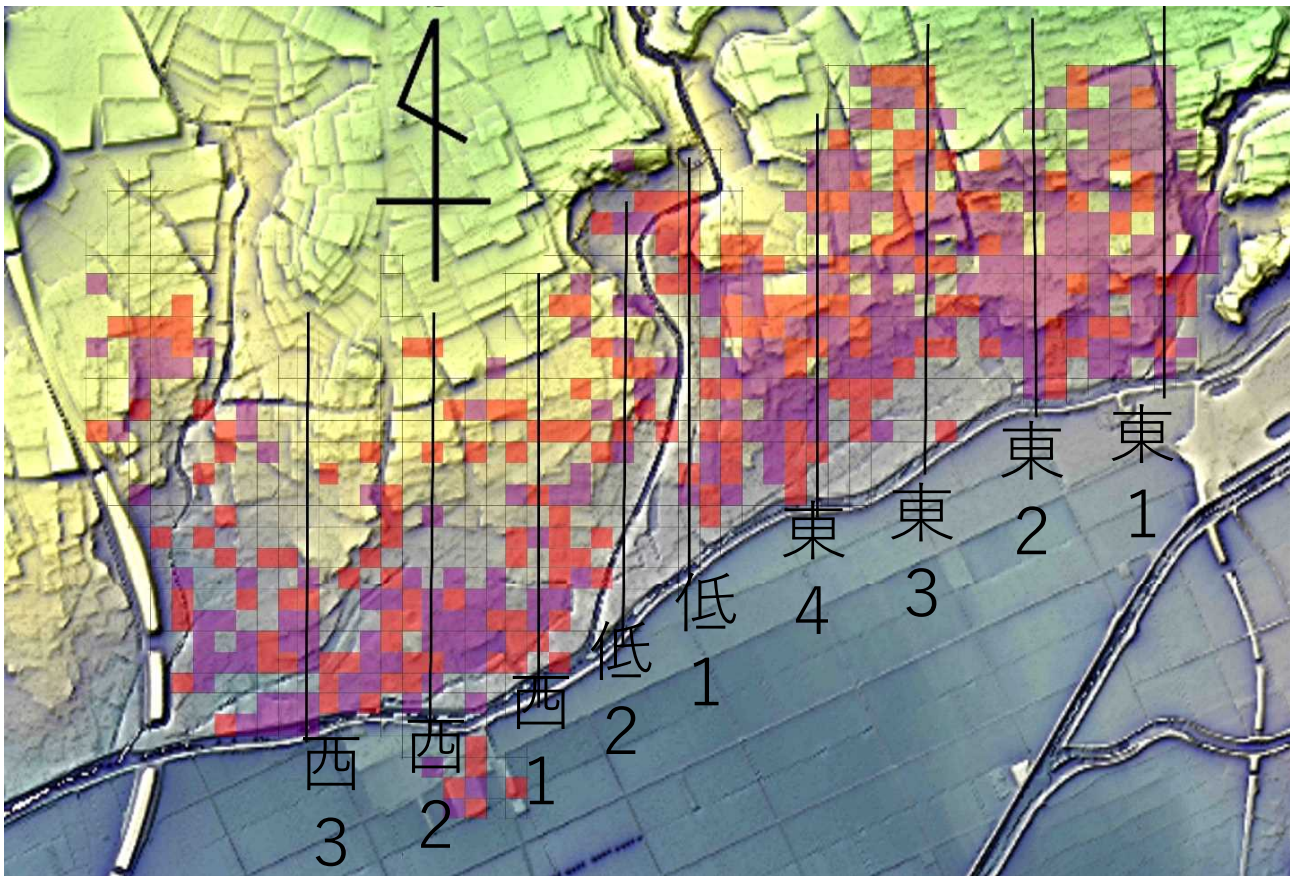


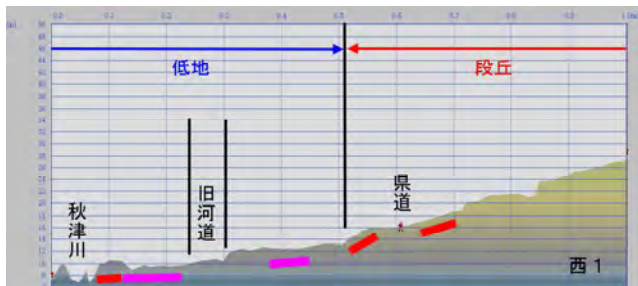
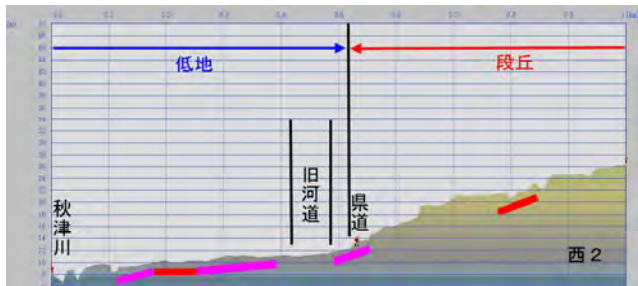
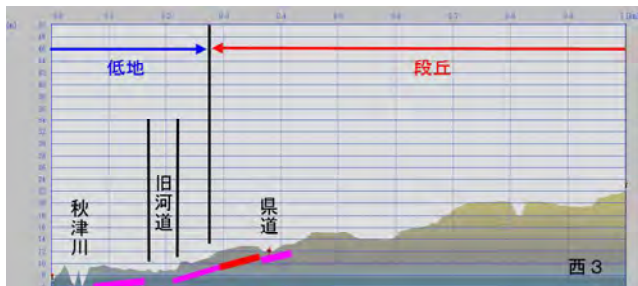
図 13 立体地図と大破率 75 %と 50 %以上のエリアと断面図作成位置

図 13 と 14 から、段丘には斜面を人工改変したひな壇状の造成地が多く見られることがわかる。鉄砂川の東側で段丘の傾斜が大きい。治水地形図と大破率 75 %以上のエリアの重ね合わせと同様に、鉄砂川の東側の傾斜の大きい段丘や段丘と低地の境界付近のひな壇状造成地で被害が大きい。鉄砂川の西側では、低地の微高地で被害が大きく、緩傾斜の段丘では被害が小さい。鉄砂川周辺の低地では被害が小さく、段丘や段丘と低地の境界付近の傾斜が大きいところで被害が大きい。

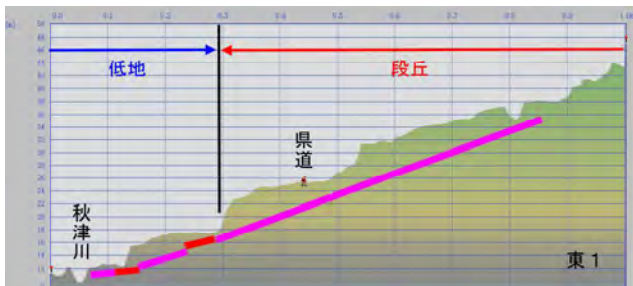
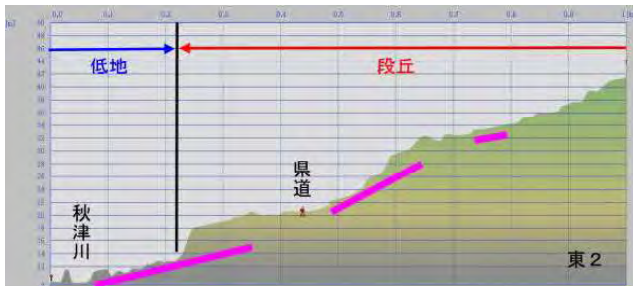
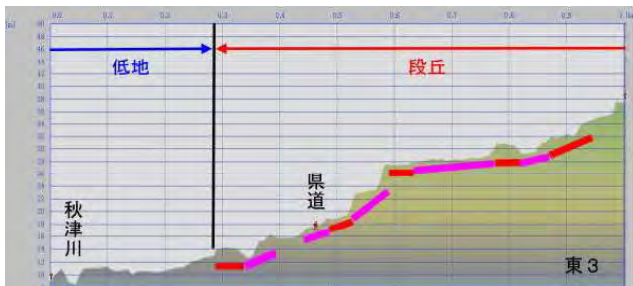
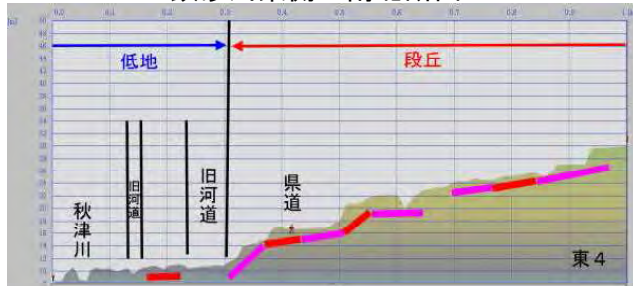
断面図について

いずれも秋津川左岸川岸から幅 1 km
 標高は最高 50 m で、右側が北
 目盛は、縦軸高さ 2 m 毎、横軸長さ 100 m 毎
 段丘面に示した紫の線は大破率 75 % 以上
 赤の線は大破率 50 % 以上を示す。

鉄砂川西側の南北断面



鉄砂川東側の南北断面



鉄砂川沿いの南北断面

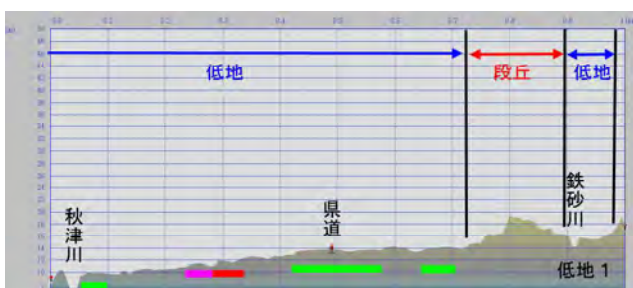
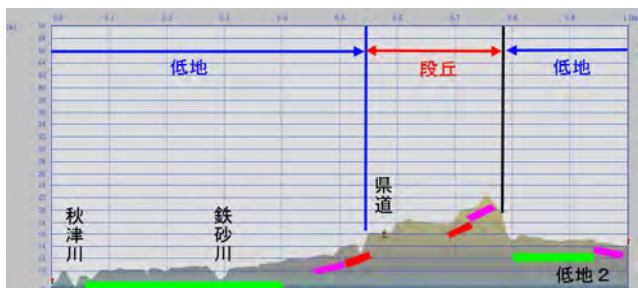


図 14 鉄砂川の東西及び鉄砂川沿いの南北断面図

調査地の地質や地下構造について、ボーリング調査等のデータが得られず、基盤や支持層や深さ、堆積物の厚さ等について詳細はわからなかった。しかし、図 15 と 16 に熊本地盤研究会が 1997 年に作成した、阿蘇 4 と阿蘇 3 火砕流堆積物の上面の標高を示す。阿蘇 4 と阿蘇 3 火砕流堆積物の上面の等高線から、調査地では阿蘇 3 の上に阿蘇 4 が重なり、いずれもおおよそ南に緩やかに傾斜していることがわかる。阿蘇 4 は多少南に向かって層厚を増している。調査地の表層地質の基盤や支持層も、南に緩やかに傾斜していると考えられる。



図 15 阿蘇 4 火砕流堆積物の上面標高

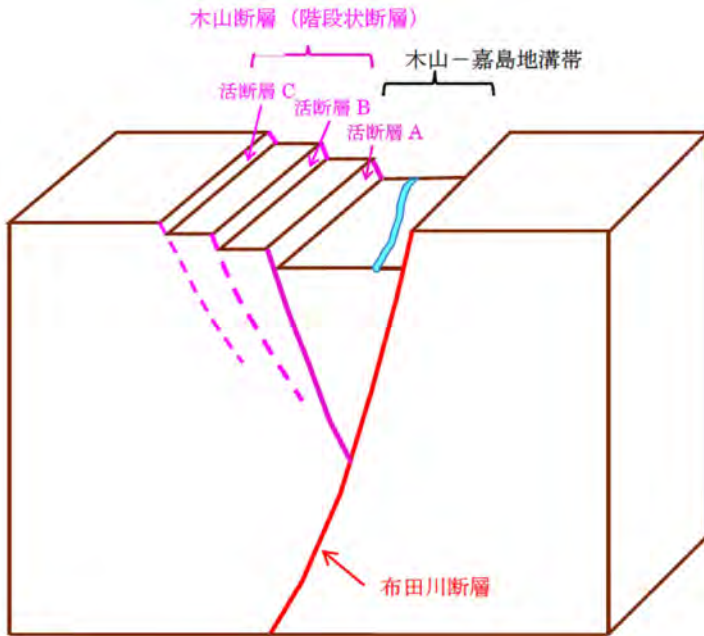


図 16 阿蘇 3 火砕流堆積物の上面標高

(赤枠が調査地を示し、標高の単位はm) 熊本地盤研究会 1997 年作成の図を改変

(4) 住宅の被害程度と木山断層との関係

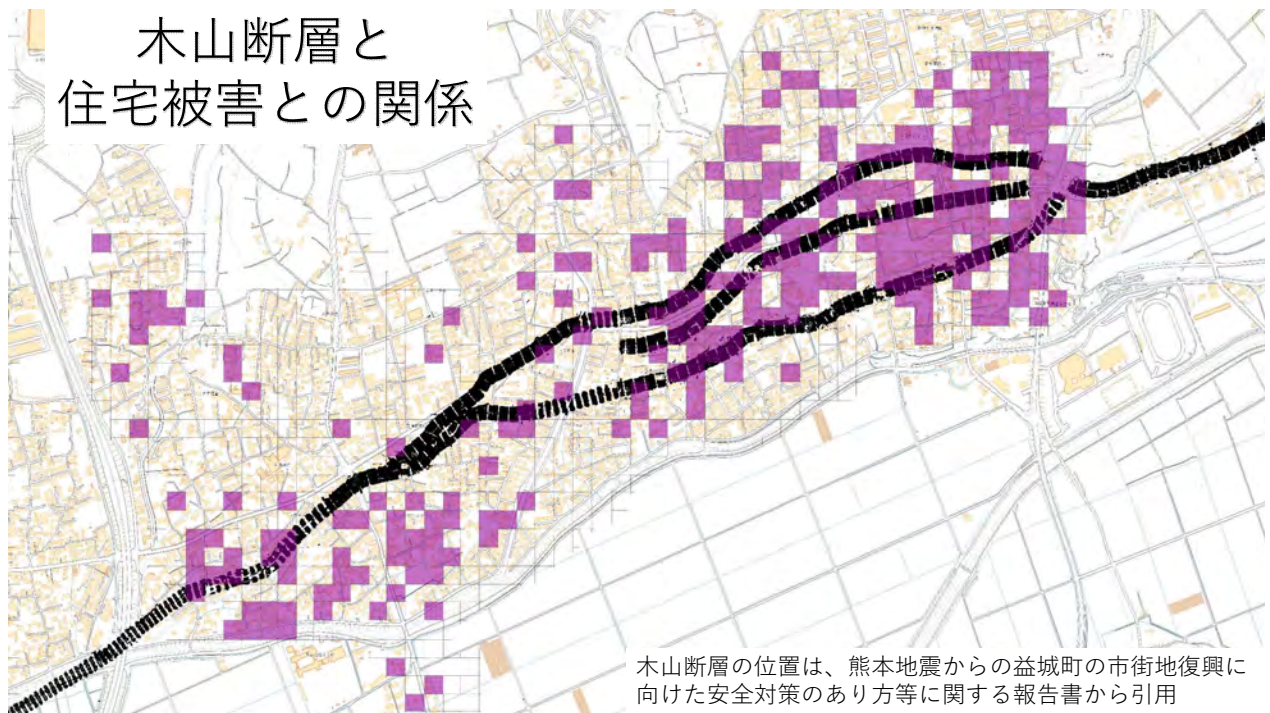
2016年4月16日発生の熊本地震の本震は、益城町の南部から北東に延びる布田川断層帯の活動によるものである。図17に示すように、益城町には布田川断層の副次断層である活断層の木山断層が分布する。木山断層は益城町を北東から南西に走り、熊本地震でも断層活動が発生したとされている。私たちの現地調査では、被害が集中している地域で全体的に住宅被害や道路の亀裂、ひな壇状造成地の擁壁破損等が確認できたが、木山断層の明確な位置について確認することができなかった。



- ・益城町市街地には階段状に3本の活断層が分布する。
- ・上記断層は、南側の布田川断層と連動して活動し、木山-嘉島地溝帯を形成している。

図17 益城町市街地の活断層模式図
(熊本地震からの益城町の市街地復興に向けた安全対策のあり方等に関する報告書から引用)

図18に、木山断層と益城町の住宅被害との関係について、木山断層の位置と大破率75%以上のエリアを重ね合わせて検討した。木山断層と住宅被害が集中したエリアとの関係ははっきりしない。今回の益城町の被害に木山断層の活動は大きく影響していないと考えられる。



木山断層の位置は、熊本地震からの益城町の市街地復興に向けた安全対策のあり方等に関する報告書から引用

図18 木山断層と住宅被害との関係

(5) 益城町の豊富な地下水と地形や地質

① 低地の氾濫平野や旧河道

図 19 に示すように、低地の氾濫平野や旧河道で湧水や自噴井戸が数多く見られる。鉄砂川の東側で県道より南の段丘面の下方でも湧水がたくさん見られた。氾濫平野や旧河道では地下水位の上面が地表近くである。

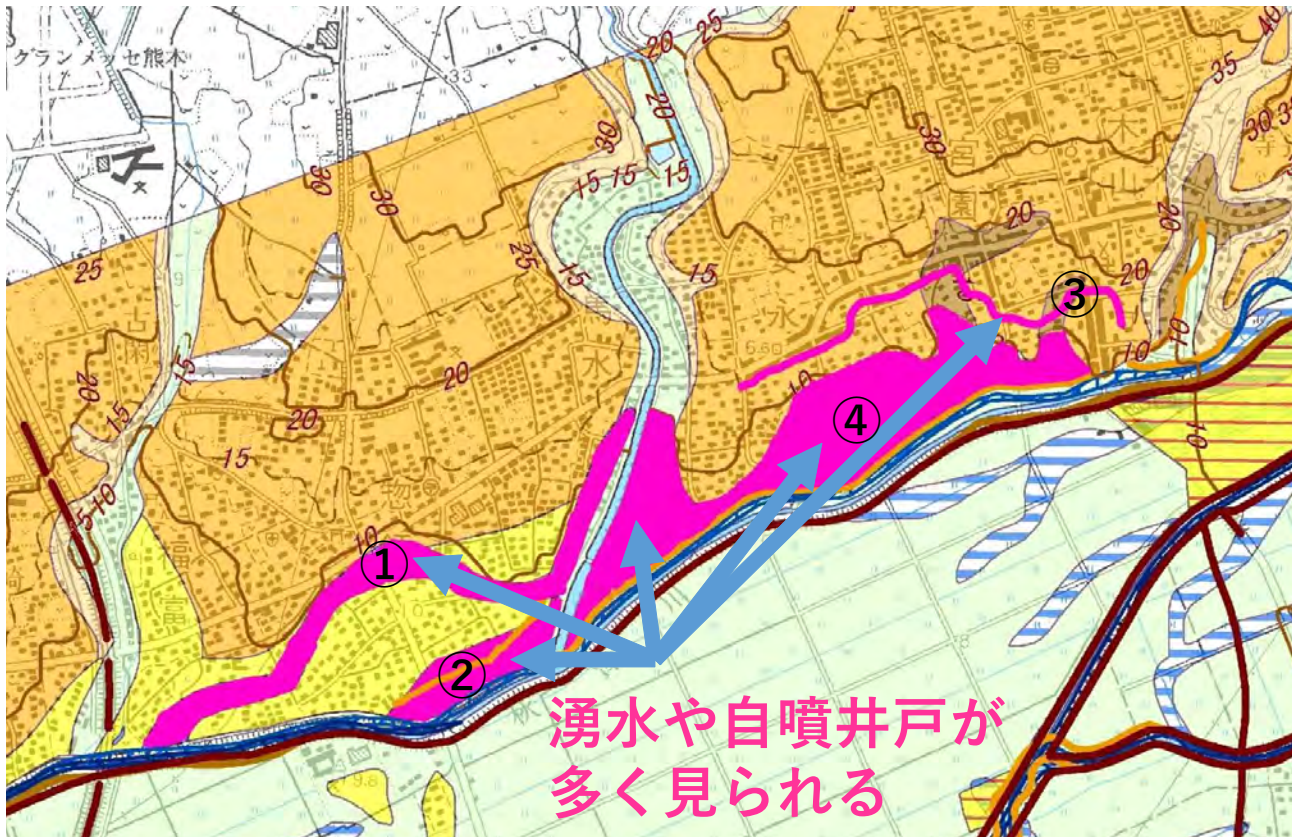


図 19 湧水や自噴井戸の位置と多く見られる地域

また、秋津川や妙見川、鉄砂川、迫川では熊本地震で護岸が崩壊し、復旧工事が続いている。図 20 に示すように、妙見川や鉄砂川、迫川は地表面から約 5 m 下を流れており、護岸工事により川の周辺の地下断面を見ることができる。鉄砂川周辺の氾濫平野の地下は表土の下に細砂やシルトが堆積している。旧河道の地下は、表土の下に粘土が厚く堆積している。これらの堆積物からは、地下水が豊富にわき出している。これらのことから、益城町の低地の氾濫平野や旧河道の堆積物は、地下水で飽和した、緩い地盤であると考えられる。

鉄砂川の護岸工事現場で低地の氾濫平野を構成する堆積物（細砂、シルト）と旧河道を構成する堆積物（粘土）を採取した。



**氾濫平野(鉄砂川の細砂・シルト)
と旧河道 (粘土)の堆積物採取地**

図 20 鉄砂川護岸工事現場の氾濫平野と旧河道の断面と堆積物採取地点

② 段丘や段丘と低地の境界付近

図 21 に示すように、段丘や段丘と低地の境界付近のひな壇状造成地では、地震で擁壁が壊れたところが多く見られた。壊れた擁壁の造成地はその上の建物も大きな被害が出ており、現在更地となっているところが多い。これらの造成地や段丘を構成する堆積物は、風化した阿蘇4火砕流堆積物の2次堆積物であった。さらに、この堆積物は水を多く含み段丘の下方では、湧水が多く見られた。土木関係の工事関係者から、古いひな壇状造成地では段丘を削った土壌を盛り土に用いていることが多く、盛り土を止める擁壁も強固でないため、地盤が不等沈下して建物が破壊されたと聞いた。段丘の古い町並みは建物だけでなく、地盤も強固でなかったといえる。

ひな壇状造成地の擁壁が壊れて、造成地の断面が表れている露頭から、造成地や段丘を構成する堆積物を採取した。

段丘面やひな壇状の造成地の堆積物 (水を多く含む風化した阿蘇4堆積物)



図 21 段丘やひな壇状の造成地の堆積物
(堆積物の最下部から水が湧き出している。)

(6) 氾濫平野や旧河道で被害が少なかった原因を確かめる実験

氾濫平野や旧河道沿いでは湧水や自噴井戸が多く見られ、豊富な地下水がある。これらの低地を構成する堆積物は緩い地盤と考え、なぜ低地では地震の被害が小さくなったのかを、図 22 に示す実験で調べた。

① 準備物

- ・ 図 20 の鉄砂川護岸工事現場から採取した、氾濫平野のシルト～細砂の堆積物と旧河道の粘土の堆積物。
- ・ スチロール水槽
- ・ 地震発生装置「じしん君」(株式会社ナリカ、サーボモーター 3 個により横振動と縦振動が混合された複合振動を発生させる。最大震度 7 を発生させることが可能)
- ・ 震度計 (Apple 社の iPhone にアプリ i 震度: 白山工業株式会社製をインストールし、iPhone 内蔵の加速度センサーを使って、iPhone 本体の揺れを計測、気象庁震度で表示。)

② 方法

- ・ 鉄砂川から採取した氾濫平野や旧河道の堆積物(細砂・シルト・粘土)を、水で飽和させて露頭と同じ状態にして別々の水槽に入れる
- ・ 水槽を地震発生装置に乗せて固定して地震動を加え、地震発生装置上を基盤や支持層とし、水槽内の堆積物の表面を地表面として、それぞれの面に iPhone を固定して震度を測定する
- ・ 堆積物の種類毎に深さを変えて 5 回ずつ実験を行って、それぞれ震度を測定する。



図 22 地震発生装置と実験の様子

③ 結果

結果を図 23 に示す。

- ・ 水で飽和した細砂～粘土のいずれの粒径も、堆積物表面の揺れは地震発生装置上面よりも小さくなり、地震動が減衰した。
- ・ 堆積物が厚くなるほど、堆積物表面の揺れと地震発生装置上面の揺れとの差、つまり減衰が大きくなった。

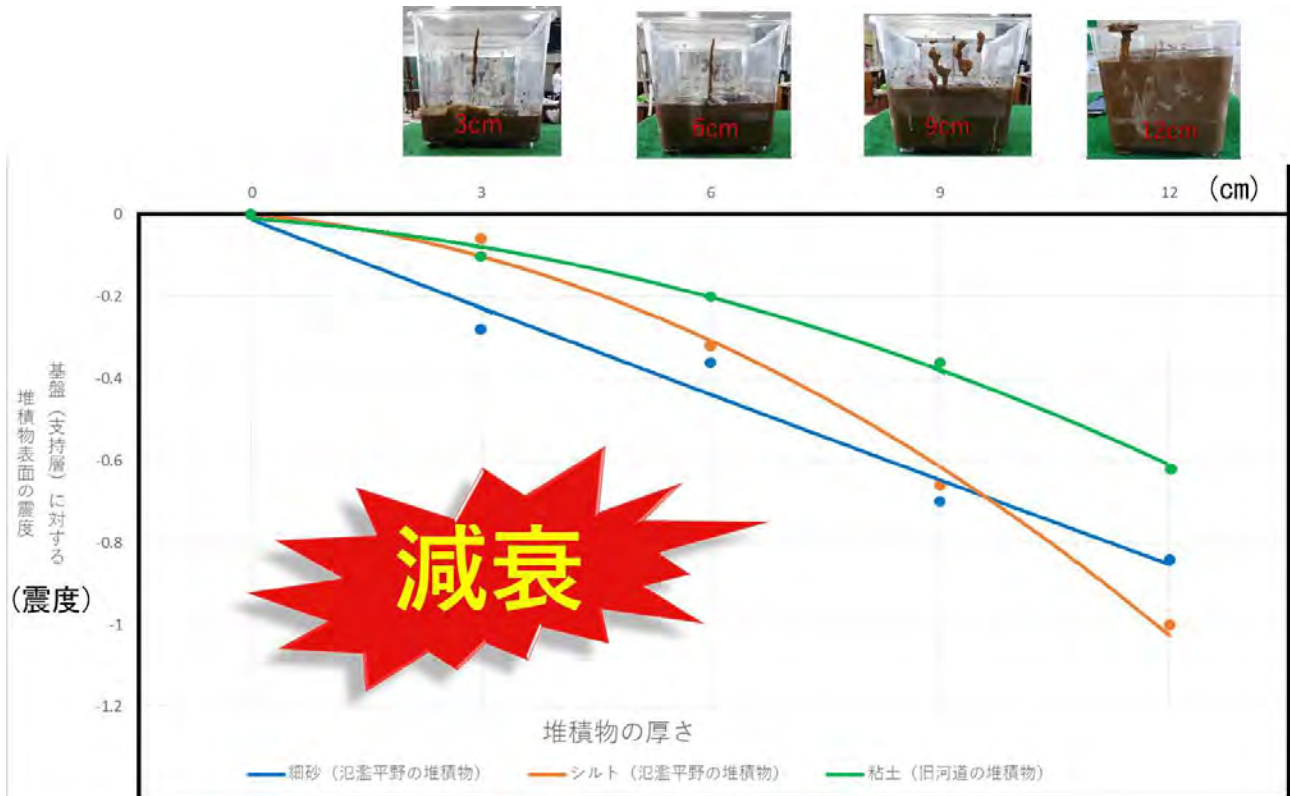


図 23 氾濫平野や旧河道の堆積物を用いた地震動実験の結果

④ 実験の評価

益城町の氾濫平野や旧河道の堆積物は、粒径のそろった粘土から細砂である。図 24 のように、地震発生前は粒子間に隙間があり地下水で飽和している。地震で堆積物の粒子は振動して重力で沈下し、隙間が小さくなり、地下水が押し出されて上昇し液状化が発生した。しかし、噴水や噴砂が見られるほど激しい液状化は発生しなかった。粒子の振動や水の流動のため、地震動が減衰したと考える。益城町の氾濫平野や旧河道では広く液状化が発生して、地表面は均等に沈下して、建物への被害が小さくなった。

現地の聞き取り調査で、低地では 50cm から 1m 沈下し、激しい液状化は広く発生していないと聞いた。実験結果はこれらの聞き取り調査と一致する。

この実験は数cmから十数cmの堆積物の厚さによる実験である。益城町の低地には粘土から細砂の堆積物が、少なくとも 5 m 以上は堆積している。数mから十数m以上の堆積物でも、地震動が減衰するか確認できていないことが課題である。

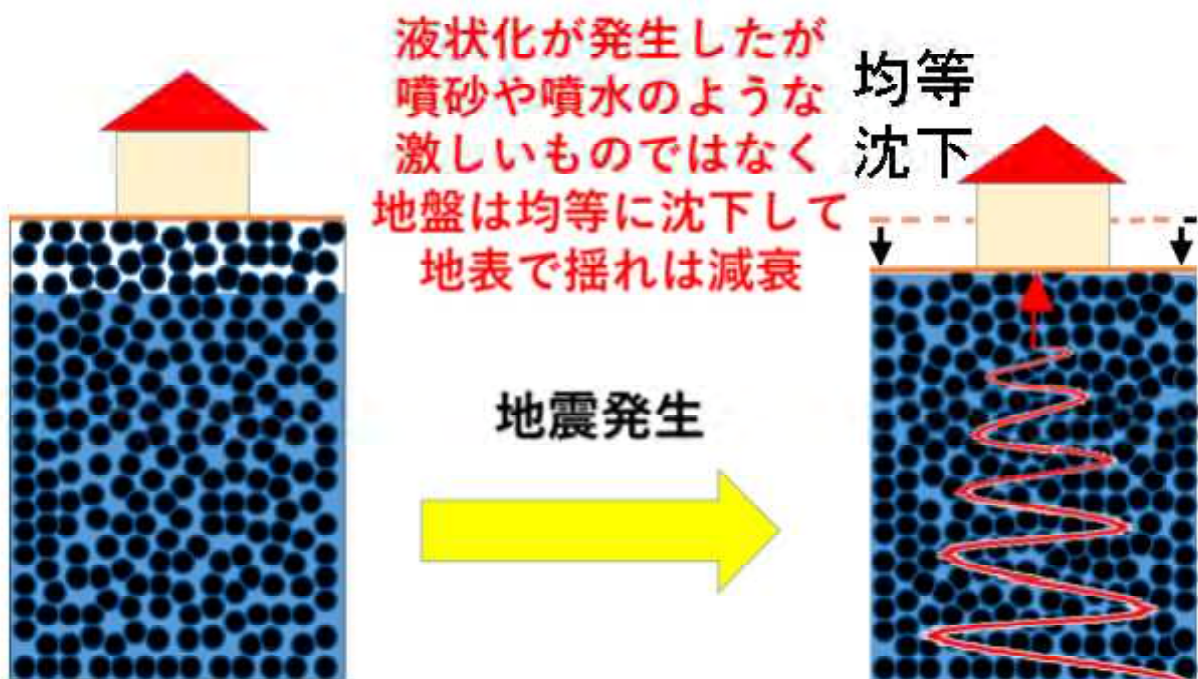


図 24 液状化と均等沈下、地震動減衰

(7) 段丘や段丘と低地の境界付近で被害が集中した原因を確かめる実験

段丘や段丘と低地の境界付近で被害が大きくなっていたことから、これらの地域に多く見られる斜面の切り崩しと盛り土でつくられた、ひな壇状造成地や傾斜地で地盤が崩壊したのではないかと考えた。ひな壇状造成地や傾斜地で地盤崩壊が発生した原因は、造成地の地下の地盤や支持層の傾斜角や堆積物の含水量が関係しているのではないかと考え、図 25 に示す実験で調べた。

① 準備物

- ・ 図 21 のひな壇状造成地から採取した、段丘の堆積物である風化した阿蘇 4 火砕流の 2 次堆積物。
- ・ スチロール水槽
- ・ 地震発生装置「じしん君」
- ・ 震度計 (Apple 社の iPhone にアプリ「i 震度」をインストール。)

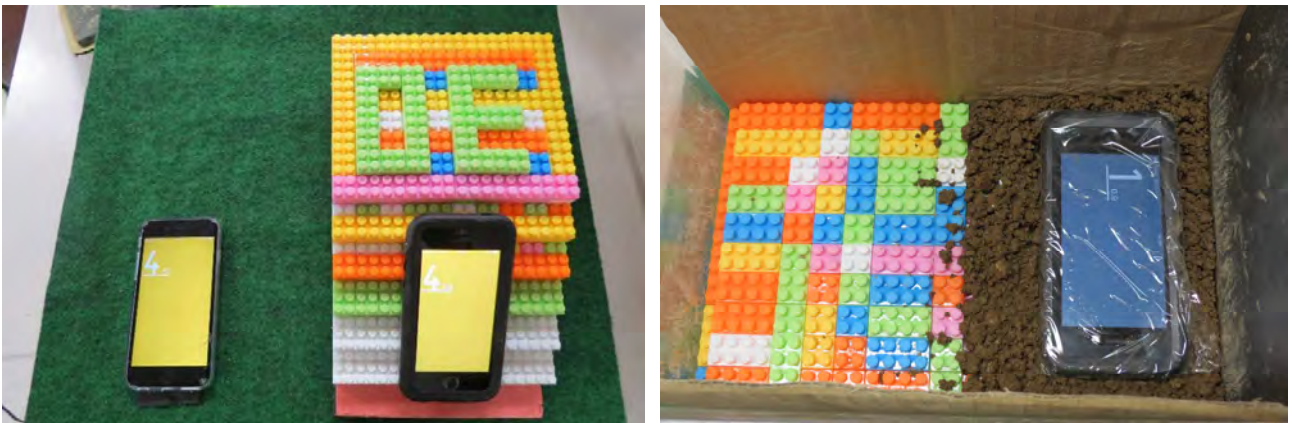


図 25 地震発生装置と実験の様子

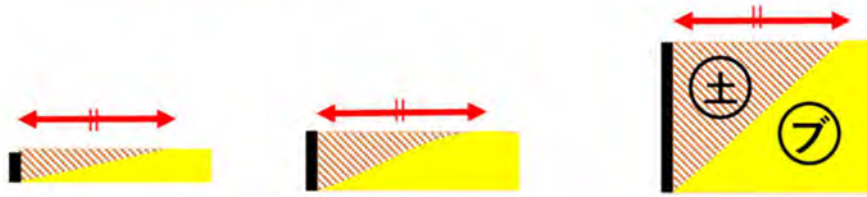
② 方法

- ・ スチロール水槽内に市販のブロックを用いて、基盤や支持層となる斜面 (0° , 15° , 30° , 45°) のモデルをつくる。
- ・ ひな壇状造成地から採取した段丘の堆積物(風化した阿蘇 4 堆積物)を、ブロックで作った斜面に堆積物の表面が水平になるよう盛って、堆積物の端を固い発泡スチロール板で止めて擁壁とした。(水槽壁面と発泡スチロール板との摩擦で固定)
- ・ 水槽を地震発生装置に載せて固定して地震動を加え、地震発生装置上(基盤・支持層)と堆積物表面上(地表面)の震度を iPhone を使ってそれぞれ測定する。
- ・ 斜面角度を $0 \sim 45^\circ$ 、含水量(堆積物に加える水の量)を $0 \sim 200\text{ml}$ と変えて測定する。

③ 条件設定

ひな壇状造成地や傾斜地の地盤崩壊の原因には、造成地の面積や堆積物の体積と関係して地震動が増幅しているのではないかと考えた。そこで、図 26 のように、「土の表面積を統一」、「土の体積を統一」の 2 つの条件で実験をおこなった。「土の表面積を統一」は、同じ面積の地表面が受ける地震動のエネルギーを統一することである。「土の体積を統一」は、同じ量の堆積物が受ける地震動のエネルギーを統一することである。

A土の表面積を統一



B土の体積を統一

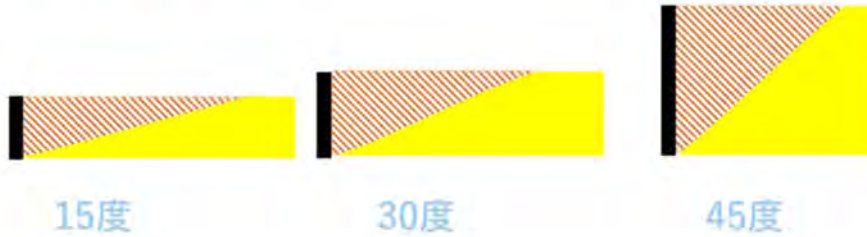


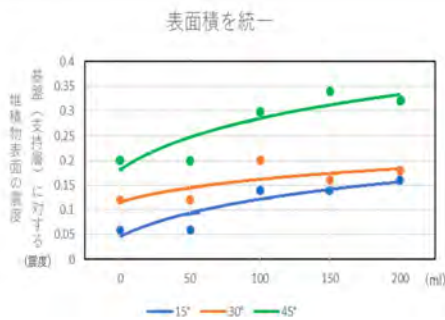
図 26 実験の条件設定

③ 結果

図 27 に実験の結果を示す。ひな壇状造成地を構成する堆積物は、基盤や支持層の傾斜が大きくなるほど、表面の揺れが地震発生装置上面より大きくなった。また、堆積物の含水量が増えるほど、表面の揺れが装置上面より大きくなった。造成地表面積や堆積物体積に関係なく、基盤や支持層の傾斜が大きいほど地震動は増幅し、堆積物含水量が多いほど地震動は増幅した。

この実験は数cmから十数cmの厚さの堆積物で、傾斜の角度が大きいモデル実験である。益城町の造成地や段丘は、阿蘇4火砕流堆積物が少なくとも数m以上は堆積しており、基盤や支持層の傾斜角は実験より小さい。数m以上の堆積物でも、地震動が減衰するか確認できていないことが課題である。

土の表面積を統一



・基盤(支持層)の傾斜角
が大きいほど、揺れが
増幅

・堆積物の含水量が多
いほど、揺れが増幅



・段丘面やひな壇造成地を
構成する、水を多く含む
風化した阿蘇4火砕流堆積物
が被害を大きくした。
・鉄砂川東側の段丘面は傾斜
が大きいため、被害が大きい

土の体積を統一

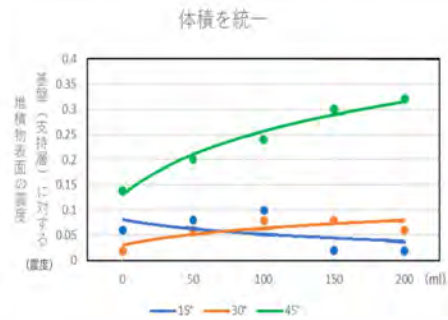


図 27 基盤や支持層の角度や堆積物の含水量と地震動の大きさ

④ 実験の評価

実験では図 28 に示すように、基盤や支持層の傾斜が大きくなるほど、また堆積物の含水量が増えるほど、堆積物を支えている発泡スチロール板が倒れて、堆積物が下方へ崩れた。図 29 に示すように、段丘面を人工的に改変したひな壇状造成地の風化した阿蘇4火砕流堆積物は、水を含むと崩れやすくなり、地震により流動化して擁壁が壊れた。造成地は不等沈下を起こして、地盤が崩壊し建物の被害が大きくなった。



図 28 実験で崩れた堆積物を支える発泡スチロール板（擁壁）

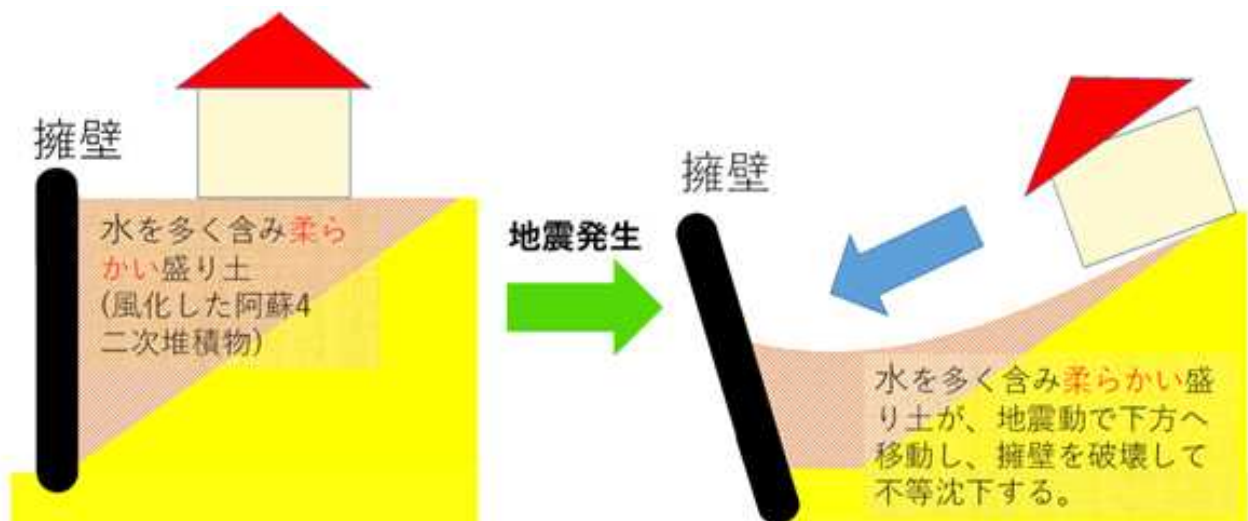


図 29 ひな壇状造成地で被害が大きくなる原因

5. 考察

図30と図31に今回の研究の結果をまとめる。益城町での被害集中域は、段丘や段丘と低地の境界付近のひな壇状造成地や傾斜地、低地の盛り土による微高地の、耐震性の低い古い住宅地である。傾斜地やひな壇状造成地の堆積物や盛り土が地震で流動して、地盤が不等沈下して建物が破壊された。実験では、造成地表面での地震動は基盤や支持層より増幅した。被害が少なかった地域は氾濫平野や旧河道、緩傾斜の段丘の、耐震性が高い新しい住宅地である。氾濫平野や旧河道は軟弱地盤で地震で液状化が発生したが、地盤が均等に沈下して建物の被害は小さかった。緩傾斜の段丘や造成地での地盤崩壊は少なく、住宅の被害が小さくなった。実験では、氾濫平野や旧河道の地表面の地震動は基盤や支持層より減衰した。

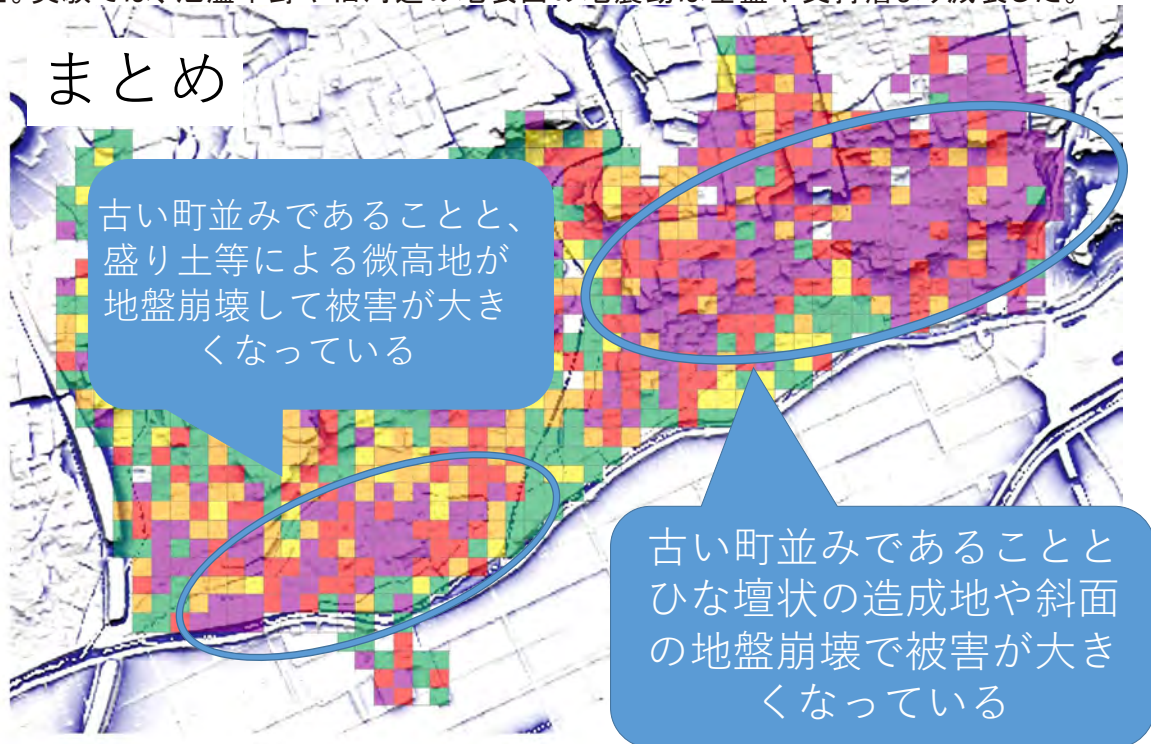


図30 益城町の被害集中域とその原因

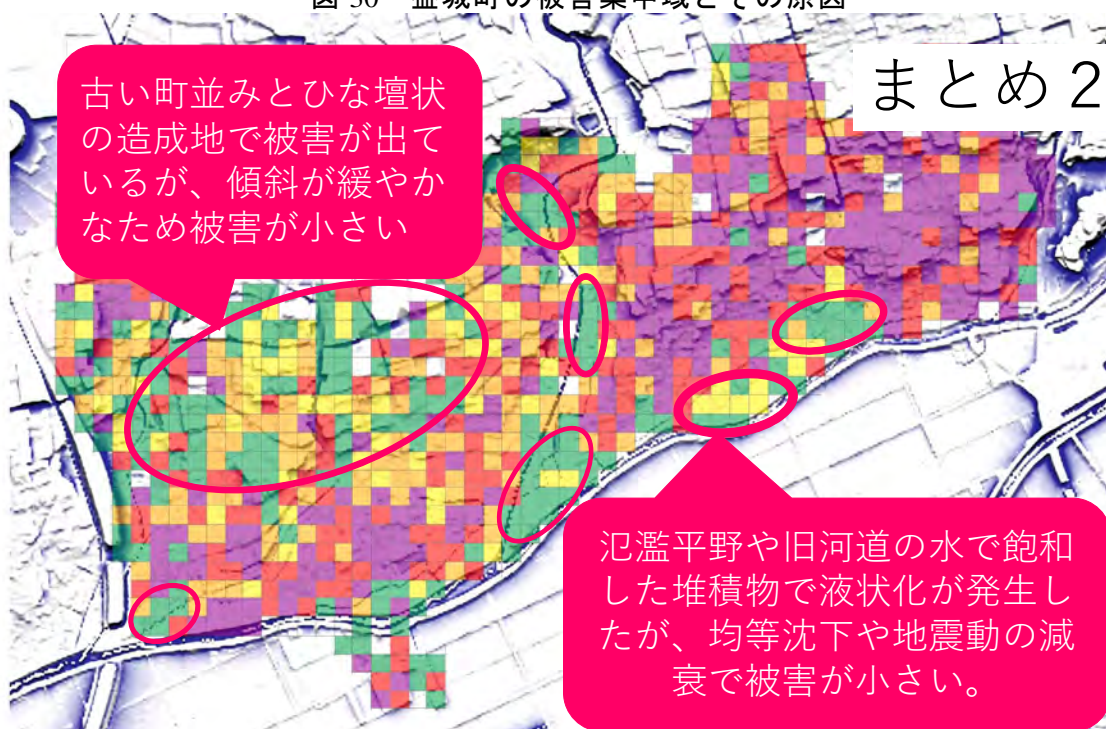


図31 益城町の被害が少なかった地域とその原因

6. 課題

低地の氾濫平野や旧河道で被害が小さかった原因や、ひな壇状造成地や傾斜地で被害が大きかった原因を確かめる実験で、使用した地震発生装置の震動発生面は 300mm × 300mm と小さい。その上に載せた地盤モデルは、底面が 250mm × 150mm で高さ 150mm のスチロール水槽に入れており、堆積物の厚さも 120mm 程度までである。しかし、現地の氾濫平野や旧河道の堆積物の厚さは少なくとも 5 m 以上あり、ひな壇状造成地の厚さも 1 m 程度以上である。私たちの実験はミニマムなモデル実験であり、数m以上ある堆積物の表面（地表面）が、地盤（支持層）の地震動に対して、増幅するか減衰するか判断するには厳しいと考えている。また、地震動発生面に載せた地盤モデルの堆積物が重くなるほど、地震発生装置が起す震動は小さくなった。これは、使った地震発生装置の震動を起す力が弱いためである。そこで、私たちは地震発生装置の震動面上の震度と、堆積物表面上の震度の差を使って結果をまとめた。

昨年の研究で、氾濫平野や旧河道の軟弱地盤の表面（地面）では地震動が増幅されると考えていた。今回の実験で、堆積物が 10 数cmのミニマムな実験であるが、地下水で飽和した粘土～細砂の堆積物表面で、堆積物が厚いほど地震動が減衰したのは逆の結果である。また、ひな壇状造成地の表面では、地震動が増幅したことも今回の実験で明らかになったことは新たな発見であったと考えている。実際の数m以上の厚い堆積物の表面上で、強い地震動がどのように変化するか実験で確かめたいと考えている。

熊本地震では益城町だけでなく、熊本市内でも被害が帯状に集中している地域がある。本研究の手法を用いて、被害が大きくなった地域の実態や原因の究明を行っていききたい。

7. 参考文献等

・地理院地図（国土地理院）

<https://maps.gsi.go.jp/#5/35.371135/138.735352/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0l0u0t0z0r0f0>

・シームレス地質図（産業技術総合研究所 地質調査総合センター）2015年5月

<https://gbank.gsj.jp/seamless/cesium/index.html>

・3D地図ナビゲータソフト「カシミール3D スーパー地形」

（Copyright(c)1994-2017 SUGIMOTO Tomohiko.）<http://www.kashmir3d.com/> 2016年12月

・iPhone用震度計アプリケーション「i震度」（白山工業株式会社）

<http://www.hakusan.co.jp/yure/ishindo/>

・熊本地震からの益城町の市街地復興に向けた安全対策のあり方等に関する報告書（国土交通省都市局）2017年3月

http://www.mlit.go.jp/report/press/toshi08_hh_000034.html

・熊本地震における建築物被害の原因分析を行う委員会報告書 2016年9月

http://www.mlit.go.jp/report/press/house05_hh_000633.html

・地震発生装置「じしん君」（株式会社ナリカ）

仕様 電源 ACアダプター 12V, 1.5A

縦震動：ボリュームの抵抗変化に比例した強度調整が可能

横震動：ボリューム回転角を16等分したプログラムPWM強度制御

震動発生機構：サーボモーター3個（プログラム型PWM制御）

外形寸法：L450 × W450 × H110mm 重量：約7 kg

8. 謝辞

住宅被害の現地調査で快く質問に答えていただいたり、地震発生当時の様子を話していただいたりした、益城町の住民や工事関係者の皆様に深く感謝申し上げます。益城町の地質についてご助言いただいた、八洲開発株式会社の田北 廣社長や井形 秀一様にお礼申し上げます。楽しく熱心に時には厳しく指導して下さった顧問の湊先生、そして本研究にご協力くださった全ての方々にお礼申し上げます。