

# 平成28年熊本地震における益城町被害木造住宅の平面計画の再現と調査対象区域の敷地内配置角度に着目した木造住宅の被害に関する一考察

---

池田 雄一<sup>1</sup>

---

Reproduction of floor plans of damaged wooden houses in the 2016 Kumamoto earthquake in Mashiki Town and the damage of wooden houses based on their cardinal orientation

Yuichi IKEDA<sup>1</sup>

## Abstract

This paper reports field investigation results of seven wooden residential houses in Mashiki Town, Japan that were severely damaged in the 2016 Kumamoto Earthquake. In this field investigation, the floor plans of these residential houses were reproduced through interviews with earthquake victims. Based on these floor plans, earthquake response analysis was conducted to simulate the probable course of damage.

It was found that due to the cardinal orientation of the damaged wooden houses, the seismic response in the X direction (longitudinal direction) has increased, likely as a result of the relationship between the direction of the strong motion and the cardinal orientation.

キーワード：平成28年熊本地震，強震動，被害木造住宅平面図の再現，被害木造住宅の地震変位応答量，木造住宅の敷地内配置角度

Key words: the 2016 Kumamoto earthquake in Japan, strong ground motion, floor plan reproduction of damaged wooden residential houses, displacement of earthquake response analysis, cardinal orientation of the damage of wooden houses

---

<sup>1</sup> 高知工業高等専門学校  
National Institute of Technology, Kochi College

## 1. はじめに

平成28年熊本地震の震度7に2回襲われた熊本県上益城郡益城町においては、木造住宅に甚大な被害が生じた。その益城町においては、日本建築学会による悉皆建物被害調査が実施されている<sup>1)</sup>。著者も地震の一週間後、益城町の図1に示す実線範囲の対象区域の建物被害調査を実施した<sup>2)</sup>。

特に、益城町では、地方道28号線と秋津川に挟まれた区域において、甚大な木造住宅の被害が生じた<sup>3)</sup>。

ところで、木造住宅の地震被害を解明するには、その被害地域において観測された強震動の強さ及びその入力地震動特性と、被害を受けた木造住宅が有していた耐震性を把握する必要がある。

益城町及びその近郊で観測された強震動は、宮園(役場)と益城(KMMH16)、及び熊本(KMM006)がある。この3つの観測点においては、前震及び本震の強震動が観測されている。

次に、被害木造住宅の耐震性を把握するためには、その木造住宅の平面計画を知る必要がある。被害を受けた木造住宅については、建物に関する構造種別、階数、用途、建設年及び被害の大きさに関して、各機関の調査対象区域においては把握されているものの、平面計画については一部の調査報告を除いて把握はされていない<sup>4)</sup>。その理由は、木造住宅は私有財産であり、公的機関も私有財産である木造住宅の平面計画まで把握することはできないためである。また、被害を受けて解体されると、その平面計画に関する調査はより難しくなる。

木造住宅の平面計画は、木造住宅の耐力壁の配置、構造計画上のバランス、1階2階の立面的剛性等、木造住宅の耐震性能を把握するために、欠かすことができない情報を有している。

平成28年熊本地震の震度7の揺れが2回襲った益城町の被害木造住宅の平面計画を再現することは、今回の木造住宅被害を明らかにする上において、貴重な資料になると考えられる。

そこで本論文では、最初に、著者の現地調査によって被害の方向を確認できた102棟のうち、被

害木造住宅を所有していたA氏～G氏の7名について、その被害木造住宅の平面計画に関する聞き取り調査を行い、平成28年熊本地震が起きた益城町に建っていた7棟の被害木造住宅の平面図を再現する。解体されて現存しない被害木造住宅の平面図を残すことによって、木造住宅の耐震性向上の一つの参考資料とする。なお、本論文の被害方向とは全壊、傾斜及び倒壊を含めた比較的大きな木造住宅の被害方向を示すものである。

次に、この被害木造住宅の平面図を基にして、先述した3つの観測点において観測された強震動を入力地震動として用い、被害木造住宅の地震応答解析を行って、その地震応答量を定量評価する。

7棟の木造住宅の地震応答解析では、強震動の入力方向と木造住宅の敷地における配置角度の違いによって、1階地震応答変位に相違が見られた。よって最後に、調査対象区域の被害木造住宅の敷地内配置角度に着目して、調査対象区域の木造住宅の被害に関する一つの考察を試みた。

## 2. 7棟の被害木造住宅平面図の再現

### 2.1 調査区域における被害木造住宅の位置関係

著者による建物被害調査は、平成28年4月23日から4月25日の3日間をかけ、図1に示す熊本県益城町の福富地区、惣領地区、馬水地区及び安永地区における主要地方道28号線(熊本高森線)以南と秋津川に挟まれた区域の目測による建物の被害状況を確認し、102棟の木造住宅の被害が生じた方向を調査した<sup>2)</sup>。図1には聞き取り調査を行った7名が所有していた被害木造住宅の位置関係についても示している。調査対象区域を拡大した図2に示す地図上には、矢印によって被害木造住宅の被害の方向を記録している。図2に記載した木造住宅の被害の方向は、目視によってある程度、その被害の方向が読み取れる102棟の被害木造住宅を表記している。

地震後の益城町では、古い伝統的木造住宅は、屋根を残して柱・壁は押しつぶされており、このようなケースでは被害の方向を判断できないとして、被害方向を示す102棟から除外した<sup>2)</sup>。そのようにして被害方向が確認できた102棟の中から、

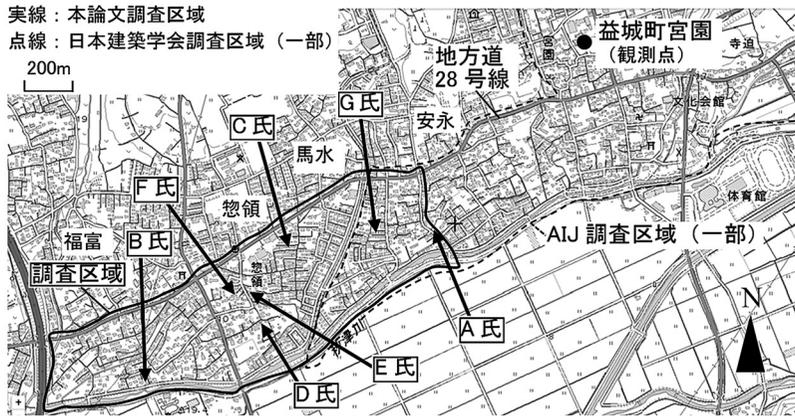


図1 本論文の調査区域と7棟の被害木造住宅の位置関係(国土地理院地図に加筆)

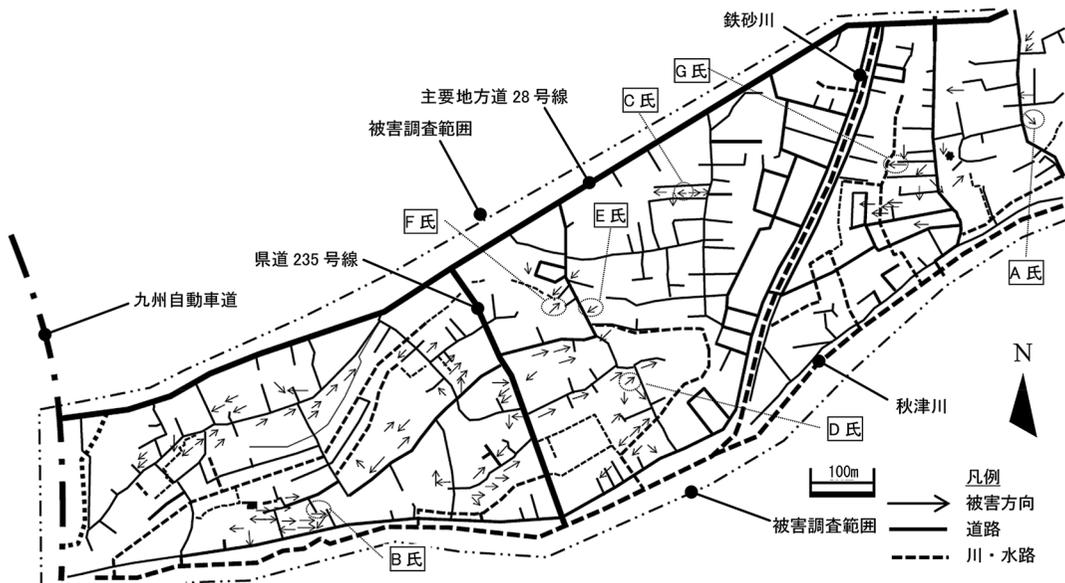


図2 7棟の被害木造住宅の位置関係

7棟についてその被害木造住宅の所有者に聞き取り調査を行った。

この7名の被災者への聞き取り調査に関して、G氏からは直接聞き取り調査が行えず、益城町の地域支え合いセンターが仮設住宅の運営を委託している熊本YMCAスタッフの方を介して図面を入手し、平面図を作成した。A氏に関しては2回、B氏～F氏に関しては3回訪問して、被害木造住

宅平面図の精度を高めた。なお、C氏及びD氏からは平面図を提供された。

被害木造住宅平面図を図3-A～図3-Gに示す。なお、図3-A～図3-Gには、被害者・建設年・各階床面積・被害方向・写真撮影方向を示している。またX方向(桁行)、Y方向(梁間)を示している。被害木造住宅X方向の敷地配置が東西軸から、傾いている場合は、東方向を基準として、反時計

回りの木造住宅X方向までの角度を図3の凡例(例えば、A氏:EW13°)に示している。

7棟の被害木造住宅を含めた102棟については、熊本県土木部熊本土木事務所景観建築課を訪問して、確認申請年月日を建設年とした。

## 2.2 A氏邸被害木造住宅平面図

図3-AにA氏邸被害木造住宅の平面図を、またA氏より提供された被害写真を写真A-1・A-2に示す。建設年は、1945年(昭和20年)と7棟のうち最も古い。1992年に屋根瓦の葺き替え改修工事を行っている。さらに2008年に1階東側の離れ部

分の増築を行っている。1階中心部には、和室が4つ配置されて、ふすま・障子で間仕切りされて耐力壁が少ない。中心部南側・東側の3つの和室には、廊下が併設している。2階には、和室が3つ配置されている。

1階南側は、廊下・和室の開口部に、サッシ・ふすま・障子を多く使用しているために、開口部が多い平面計画となっている。

屋根は瓦屋根、壁は土壁である。敷地内には、自宅と併設して倉庫もあり、その倉庫も被害を受けた。

A氏によると、前震の強震動において、倒壊に

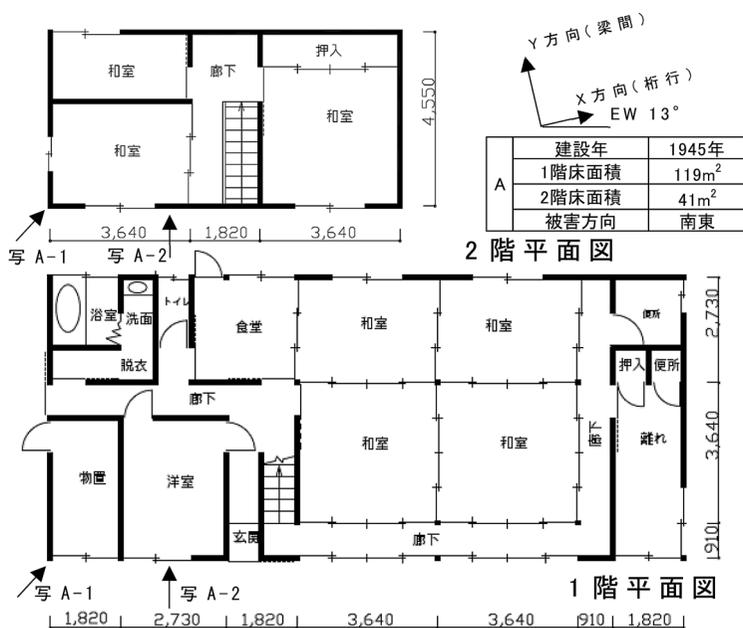


図3-A A氏被害木造住宅平面図



写真A-1

写真A-2

近い全壊被害を受けたとの回答を得ている。

建設年は、1993年と7棟のうちにおいて最も新しい。2000年頃に、瓦と壁の塗装の塗り替えを行っている。2階の床面積がおおよそ1階と同じ程度ある総2階建木造住宅であった。1階玄関近辺には、2階ベランダを支える柱がある。地震時には

### 2.3 B氏邸被害木造住宅平面図

図3-BにB氏邸被害木造住宅の平面図を、被害写真を写真B(著者撮影)に示す。

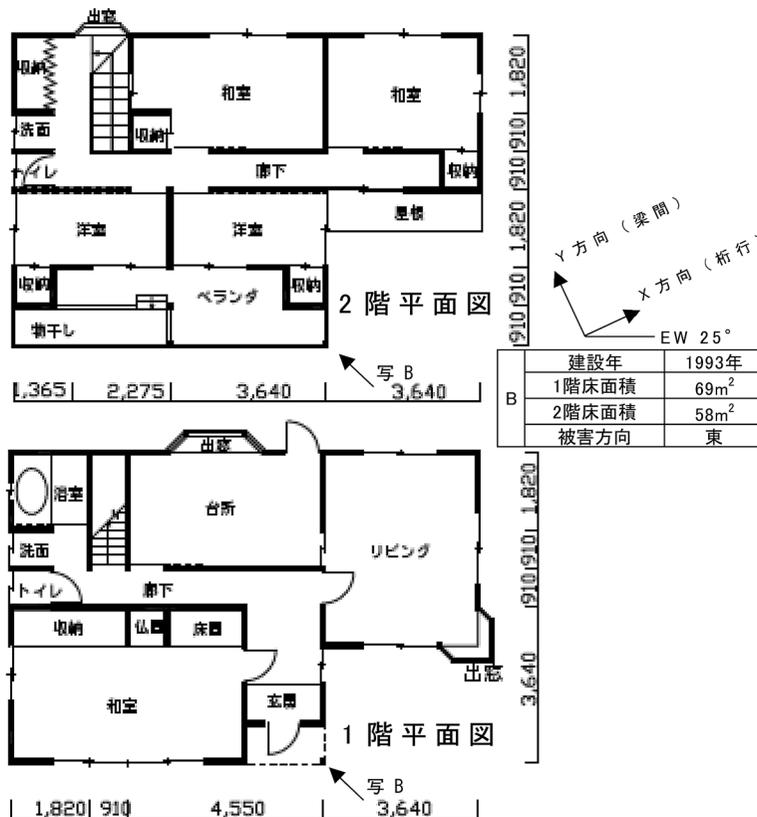


図3-B B氏被害木造住宅平面図



写真B

この部分の損傷が大きかったと、B氏は述べている。2階にはベランダがあるが、これだけでは面積が不足して、物干しスペースを確保するために、ベランダ近くに物干しを増築している。屋根は瓦屋根、壁はサイディング壁である。

B氏によると、前震の強震動によって大きく被

害を受けた後、本震の強震動によって倒壊に至ったとの回答を得ている。

### 2.4 C氏邸被害木造住宅平面図

図3-CにC氏邸被害木造住宅の平面図を、被害写真を写真C(著者撮影)に示す。



図3-C C氏被害木造住宅平面図



写真C

建設年は1978年である。図3-Cの1階車庫部分は、当初、屋外の駐車場であったが、車両を屋内車庫に収庫したいという理由により、1985年に1階に車庫を増築し、その上階に1室を設けた。そのため、1階から2階への階段が2つあり、2階の部屋同士は、2階においては、行き来ができない特殊な2階平面計画となっている。1階の2つの和室には、広縁が併設されている。屋根は瓦屋根、壁はモルタル壁である。

C氏によると、本震の強震動によって、倒壊の被害を受けたとの回答を得ている。

### 2.5 D氏邸被害木造住宅平面図

図3-DにD氏邸被害木造住宅の平面図を、D氏より提供された被害写真を写真D-1・D-2に示す。

建設年は1976年である。当初は、平屋建であったが、子供の成長に伴って、子供部屋が必要となり、1988年に2階部分を増築した。その2階部分には夫婦寝室、子供部屋2室を増築しているため、2階部分の床面積が大きくなり、総2階建となっている。1階にある2つの和室には、廊下が併設されて、縁側の機能となっている。屋根は瓦屋根、壁はモルタル壁である。

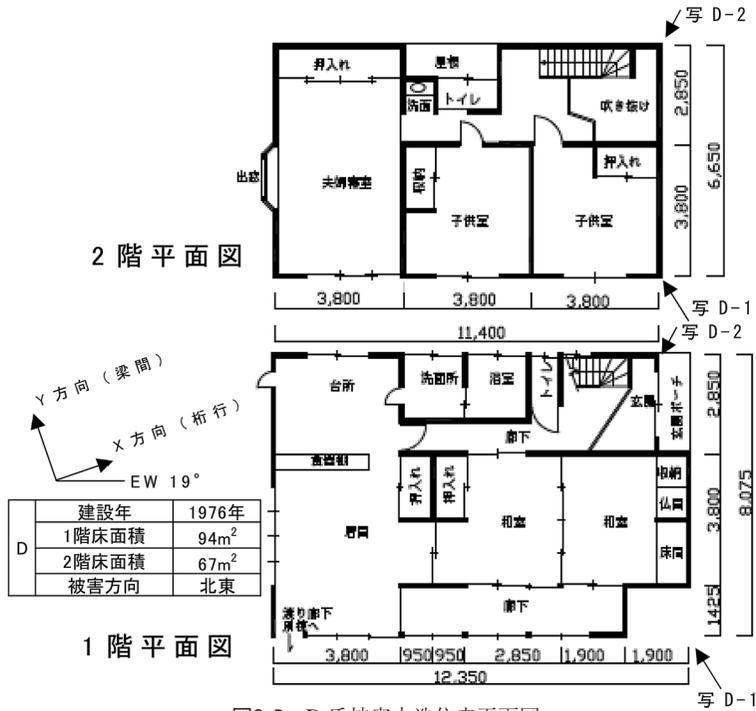


図3-D D氏被害木造住宅平面図



写真D-1



写真D-2

D氏によると、前震の強震動において、倒壊に近い全壊の被害を受けたとの回答を得ている。

### 2.6 E氏邸被害木造住宅平面図

図3-EにE氏邸被害木造住宅の平面図を、E氏より提供された被害写真を写真E-1に示す。

建設年は1990年である。提供された写真には、被害木造住宅全体が撮影されている写真がなかったため、外壁の材料を確認できる写真E-1を示している。また、解体後のE氏敷地写真E-2（著者撮影）を示す。写真E-2よりE氏の敷地は、北側は敷地が広く、南側は敷地が狭くなる逆三角形の

敷地形状をしており、敷地の西側において道路と接している。

E氏被害木造住宅についても1階の2つの和室には、縁側が併設されている。屋根は瓦屋根、壁はサイディング壁である。壁の材料については写真E-1からも確認できる。

E氏によると、本震の強震動によって、全壊の被害を受けたとの回答を得ている。

### 2.7 F氏邸被害木造住宅平面図

図3-FにF氏邸被害木造住宅の平面図を、被害写真を写真F（著者撮影）に示す。

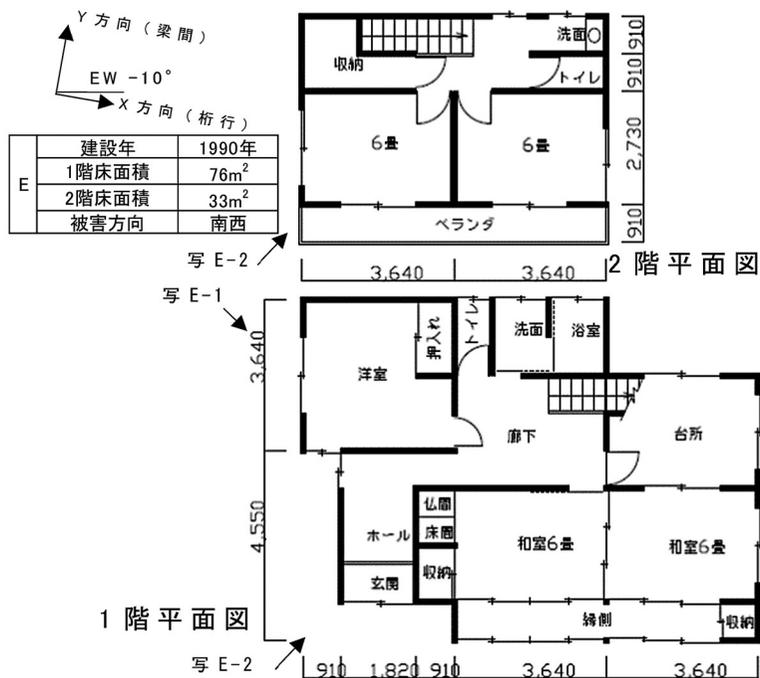


図3-E E氏被害木造住宅平面図

E氏敷地  
(解体後)



写真E-1



写真E-2

建設年は1985年である。平面図から、1階の中心部には8畳の洋室が2つ上下(北南)に配置計画され、間仕切りはふすまで仕切られている。よって、1階の中心部に耐力壁の少ない平面計画と

なっている。北東側にはサンルームが併設されている。このサンルームは、写真Fからも確認できる。屋根は瓦屋根、壁はモルタル壁である。

F氏によると、本震の強震動によって、全壊の

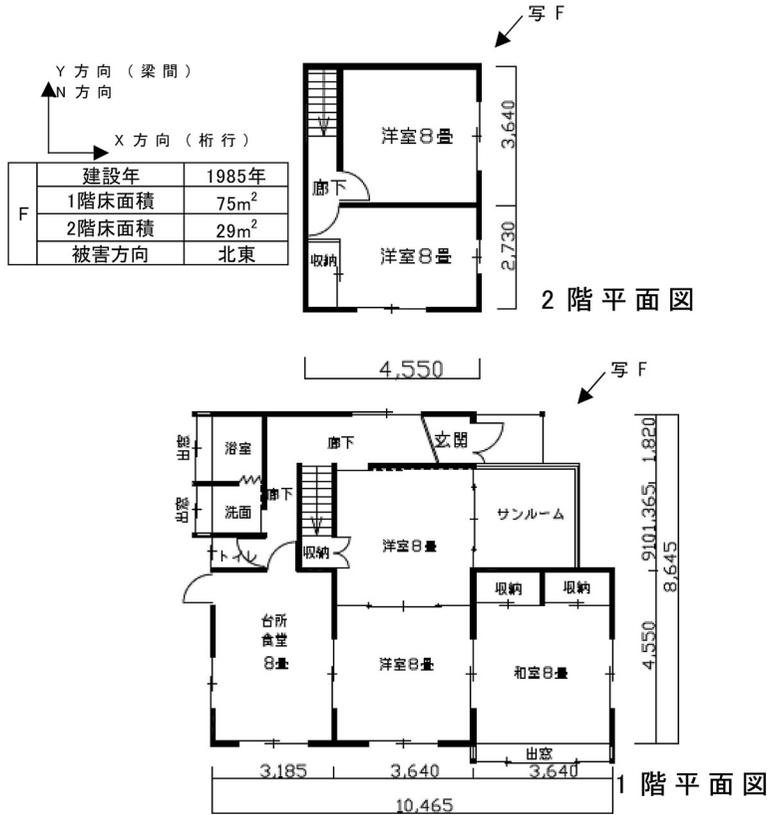


図3-F F氏被害木造住宅平面図



写真F

被害を受けたとの回答を得ている。

### 2.8 G氏邸被害木造住宅平面図

図3-GにG氏邸被害木造住宅の平面図を示す。G氏の被害写真は著者による調査においても、G氏本人も所持していないため、被害木造住宅解体後の敷地写真を写真G（著者撮影）に示す。G氏からは被害木造住宅の平面図を提供された。これ

を参考にして平面図を作成した。

建設年は1976年である。1994年に1階部分の北側一部と南側一部を増築している。その内訳は、北側のダイニングキッチンと洗面・風呂の水回り部分と、南側の広縁と玄関部分を拡張して、その拡張部分が増築部分にあたる。図3-Gの平面図には、その増築分にあたる箇所について、ハッチで示している。

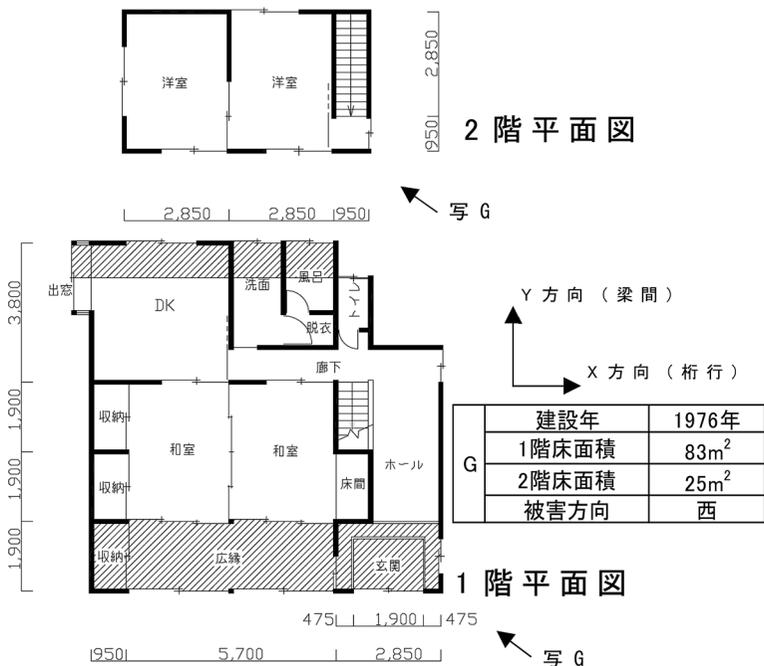


図3-G G氏被害木造住宅平面図



写真G

屋根は瓦屋根、壁はモルタル壁である。

写真 G にあるように、G 氏敷地を含めた区画にあった隣接する 5 棟がすべて全壊の被害を受けており、それらの被害木造住宅は解体されて、G 氏敷地周辺には更地が広がっている。

書面によるアンケートでは、G 氏によると本震の強震動によって、全壊の被害を受けたとの回答を得ている。

### 3. 聞き取り調査より作成した平面計画に基づいた 7 棟の被害木造住宅の地震応答解析

#### 3.1 振動解析モデル

本論文では、無開口耐力壁について壁倍率を 2 (1.96kN/m (基準耐力) × 2) として、耐力評価を行った<sup>5)</sup>。A 氏については土壁を考慮して、無開口耐力壁の壁倍率を 1 で評価した。壁倍率<sup>6)</sup>については、建設年代毎に外壁・内壁の平均壁倍率に関する報告<sup>7)</sup>がある。この報告によると、外壁は1960年以降では平均壁倍率が 2 を上回り、内壁の平均壁倍率は 2 を下回るとされている。そこで本論文では、開口耐力壁や非構造部材等の余力を考慮して、無開口耐力壁については外壁・内壁ともに壁倍率を 2 で取り扱った。

重量については、入手できた図面及び被害写真から、屋根(重い屋根(葺き土の有・無)・軽い屋根)、外壁(土塗り壁、ラスモルタル、サイディング)、内壁(土塗り、ボード)、床(室内床)の部材・材料種類毎及び積載荷重を考慮した<sup>8)</sup>。

振動解析モデルは、2 質点せん断系モデルとする。減衰評価は、初期剛性に対して剛性比例型とし減衰定数は 5 % で解析を行った。

復元力特性については、図 4 に示すように、バイリニアールモデルとスリップモデルを組み合わせたバイリニアール・スリップモデルとした。モデルの諸定数については既往文献<sup>9,10)</sup>を参考にして以下のように定めた。

各階の壁長に基準耐力 (1.96kN/m) と壁倍率の 2 を乗じて、降伏耐力  $Q_{y0}$  を求めこれを第 2 折れ点耐力  $Q_{y0}$  とし、その第 2 折れ点耐力  $Q_{y0}$  の 1/5 倍を第 1 折れ点耐力  $Q_{y1}$  とする。第 2 折れ点降伏耐力  $Q_{y0}$  の変位  $\delta_{y0}$  を層間変形角 1/180 とする。また、第 1 折れ点耐力  $Q_{y1}$  の変位  $\delta_{y1}$  は層間変形角 1/720 とする。なお、階高 H は 273 cm としている。

最大耐力  $Q_{max}$  は降伏耐力  $Q_{y0}$  の 1.5 倍とし、最大耐力  $Q_{max}$  における第 3 折れ点変位  $\delta_u$  を層間変形角 1/30 とする。2 次剛性  $K_2$  は初期剛性  $K_1$  の 0.1 倍とする。第 3 折れ点変位  $\delta_u$  以上の剛性  $K_{s3}$  は、

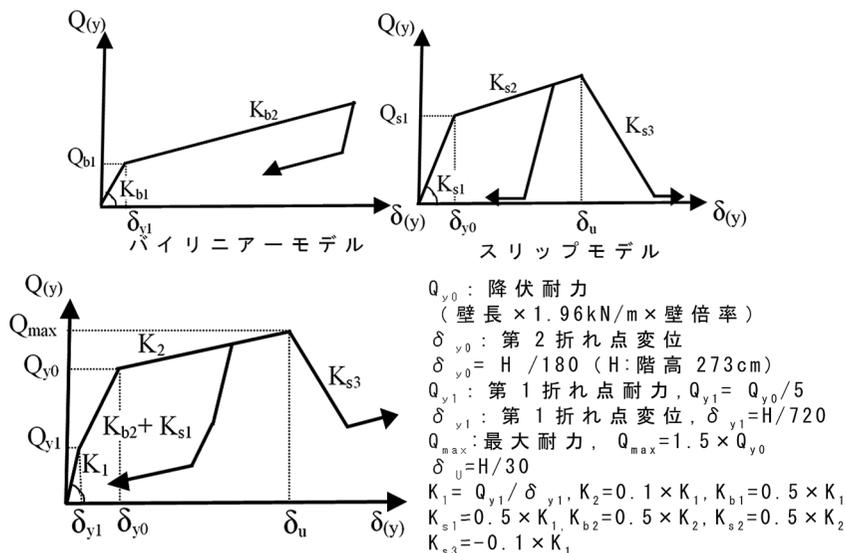


図 4 木造住宅の復元力特性 (バイリニアール・スリップモデル)

初期剛性  $K_1$  の  $-0.1$  倍 (負,  $\alpha = -0.1$ ) とする。バイリニアモデル及びスリップモデルのそれぞれの各剛性については、バイリニアスリップモデルの初期剛性  $K_1$  及び 2 次剛性  $K_2$  の  $0.5$  倍ずつを振り分けた。

### 3.2 各木造住宅の固有周期とベースシヤ-係数

7 棟の被害木造住宅の初期剛性  $K_1$  に対して固有値解析を行った。表 1 に、A 氏～G 氏に関する重量、初期剛性及び固有周期を示す。

X 方向の 1 次固有周期と、Y 方向の 1 次固有周期について図 5-1 に図示する。図 5-1 から A 氏を除く各木造住宅は、X・Y 方向ともに  $0.3$  秒前後から  $0.4$  秒程度となっている。木造住宅の微動測定による固有周期に関する 238 棟のデータ数を基にした報告では<sup>11)</sup>、おおよそ木造住宅の固有周期は  $0.1$  秒～ $0.25$  秒程度に分布しているとされている。これに比べると、図 5-1 に示す X・Y 方向の 1 次固有周期はやや長い傾向にある。

次に、降伏耐力  $Q_{y0}$  を層せん断力として計算した X 方向及び Y 方向のベースシヤ-係数を図 5-2 に示す。A 氏のベースシヤ-係数が X・Y 方向と

もに、他の木造住宅と比べると小さくなっている。これは土壁の壁倍率を 1 としているためである。X 方向については、A 氏及び G 氏を除くと他の木造住宅のベースシヤ-係数は  $0.3$  以上となっている。G 氏の X 方向ベースシヤ-係数が  $0.3$  を下回っているのは、先の図 3-6 の 1 階平面図からもわかるように X 方向の壁量が他の木造住宅に比べて、やや少ないためである。

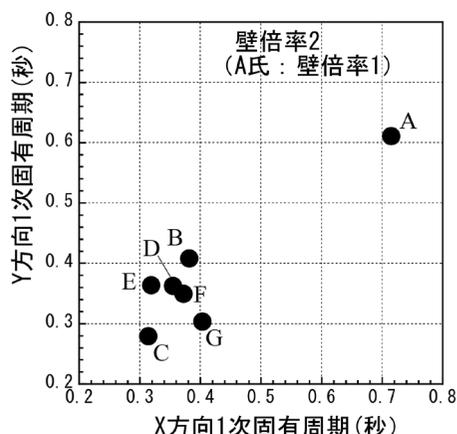


図5-1 7棟被害木造住宅のX・Y方向の1次固有周期

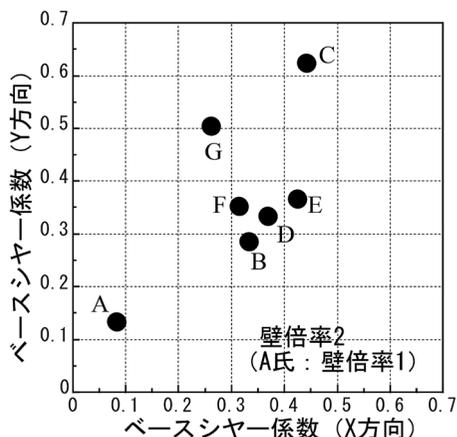


図5-2 7棟被害木造住宅のX・Y方向のベースシヤ-係数

表 1 各木造住宅の重量、剛性及び1次固有周期

各氏	階	重量 (kN)	方向	階	剛性 (kN/m)	方向	固有周期 (秒)
A 氏	1	361.2	X	1	0.433	X	0.715
				2	0.339		
	2	131.1	Y	1	0.697	Y	
				2	0.264		
B 氏	1	129.4	X	1	0.791	X	0.382
				2	0.678		
	2	95.8	Y	1	0.678	Y	
				2	0.640		
C 氏	1	169.7	X	1	1.066	X	0.314
				2	0.678		
	2	59.2	Y	1	1.506	Y	
				2	0.603		
D 氏	1	191.5	X	1	1.258	X	0.355
				2	1.219		
	2	131.9	Y	1	1.140	Y	
				2	1.533		
E 氏	1	131.4	X	1	0.828	X	0.319
				2	0.678		
	2	53.5	Y	1	0.715	Y	
				2	0.339		
F 氏	1	142.3	X	1	0.640	X	0.372
				2	0.414		
	2	50.5	Y	1	0.715	Y	
				2	0.527		
G 氏	1	155.4	X	1	0.550	X	0.404
				2	0.314		
	2	44.0	Y	1	1.061	Y	
				2	0.393		

### 3.3 解析に用いた入力地震動

益城町内とその近くで観測された前震・本震の強震記録は、防災科学技術研究所強震観測網 KiK-net 益城 (KMMH16) と、地方公共団体によって観測された益城町役場の宮園である。また、調査対象区域西端の一角から約 2 km 離れた K-NET 熊本 (KMM006) の観測点がある。

本論文では、この宮園、益城及び熊本の3つの強震記録を解析に用いる検討用強震動とする。

宮園及び益城に関する2つ強震動は、震源近傍の観測強震動であることに鑑み、解析の入力地震動として用いた。益城町の被害が大きかった区域からやや距離がある熊本については、宮園及び益城と比較するために用いている。以上、これら3つの強震動を本論文では用いた。

なお、調査区域と宮園の観測点位置関係については、先に示した図1に表示している。調査区域に近い強震観測点は、調査対象区域一角から約 800 m 離れた宮園である。なお、宮園の強震動は、益城町役場庁舎1階で得られた強震記録であるため、地盤と建物の動的相互作用の影響が含まれていることが指摘されている<sup>12)</sup>。

図6-1に3つの前震強震動の速度応答スペクトルを、図6-2には本震強震動の速度応答スペクトルを示す。平成28年熊本地震本震においては、EW成分がNS成分よりも大きいため、図6-1及び図6-2ともにEW成分のみを示している。

図6-1では、宮園の強震動は周期0.5秒以下の短周期帯域において、益城の方が宮園よりも大きくなっている。また図6-2の本震では、周期0.3秒において益城及び熊本に比べて、宮園は半分程度の速度応答量となっている。しかし周期0.5秒を超えると宮園の方が、益城及び熊本に比べて、速度応答量が大きくなる。

このように宮園の強震動においては、速度応答スペクトルからも周期0.5秒以下において、地盤と建物の動的相互作用の影響により、短周期帯域の速度応答量が小さくなっている。

### 3.4 前震・本震強震動の水平2成分の平面軌跡

周期 1 ~ 2 秒帯域の強い強震動が、木造建物の

被害に影響を及ぼすと過去の建物被害と強震動の強さから関係づけられている<sup>13)</sup>。木造建物の地震被害については、軸組が塑性化して周期が延び、木造建物の振動に影響を与える周期帯域の強い地震動によって、木造建物が損傷・倒壊することが考えられる。これに鑑みて、本論文では周期0.5 ~ 2秒の周期帯域に着目する。

前震・本震強震動の宮園、益城及び熊本の水平

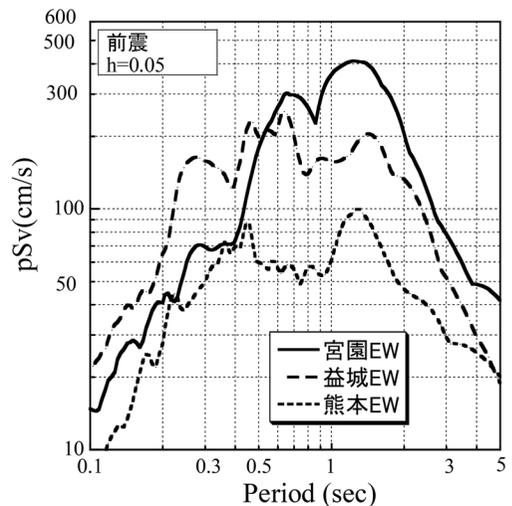


図6-1 前震強震動の速度応答スペクトル

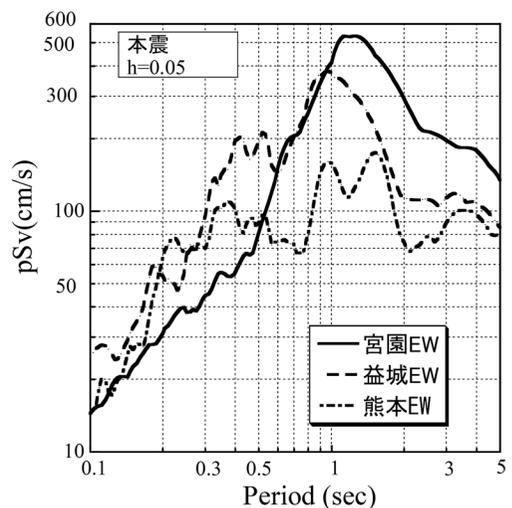


図6-2 本震強震動の速度応答スペクトル

動2成分の加速度時刻歴に、周期0.5～2秒のバンドパスフィルターを施し、その水平動平面軌跡から得られた加速度の平面最大値から強震方向軸(H1)と、この強震方向軸と直交する軸(H2)を求めた。周期0.5～2秒のバンドパスフィルターを施して得られた加速度の水平動成分平面軌跡を、前震強震動については図7-1・7-2・7-3に、本震強震動については図7-4・7-5・7-6に示す。

図7-1～図7-3の前震宮園・益城・熊本については、平面軌跡による強震方向軸(H1)が東方向から反時計回りになす角度は、宮園は323°(強震方向軸が東方向から反時計回りに最初になす角:143°(=323°-180°)), 益城は348°(168°)及び熊本は236°(56°)となっている。

図7-4～図7-6の本震宮園・益城・熊本について、本震強震動平面軌跡による強震方向軸(H1)の角度は、宮園は211°(31°), 益城は21°(201°)及び熊本は233°(53°)となっている。

前震強震動は、熊本を除き、宮園・益城においておおよそ南東-北西軸に近い角度で、本震強震動は、熊本も含めておおよそ南西-北東軸に近い角度に、強震方向軸があると考えられる。

### 3.5 強震動の入力方向

7棟のうち3棟(C氏・F氏・G氏)の被害木造住宅は、X方向(桁行)は、東西方向に敷地配置計画されていた。ただし、A氏・B氏・D氏・E氏に関しては、図8-1及び先に示した図3-A・3-B・3-D・3-Eの凡例に示すように、それぞれの被害木造住宅のX方向は、東方向から反時計回りに-10°～25°の角度を持って敷地に配置されていた。強震動の入力方向については、最初に木造住宅のX方向(桁行)にEW成分を、Y方向(梁間)にNS成分を入力する。

次に、A氏の敷地配置角度は13°(図3-A)、B氏は25°(図3-B)、D氏は19°(図3-D)及びE氏は-10°(図3-E)に関しては、敷地配置角度を考慮した強震動の入力を行う。

この4棟の木造住宅については、図8-1に示すように木造住宅の敷地配置角度 $\theta$ について、原波強震動を座標変換して、作成した強震動を入力す

る。具体的には、図8-2に示すように強震動の原波水平2成分を東方向から反時計回りに各木造住宅のX方向のなす角度 $\theta$ について新しいX軸を設け、これに直交する新しいY軸について、原波強震動を座標変換した強震動を作成して、このX軸及びY軸の強震動成分を各木造住宅のX方向及びY方向に入力して解析を行った。

### 3.6 前震・本震強震動に対する各被害木造住宅の1階地震応答変位

図9-A～図9-Gに前震・本震強震動の宮園、益城及び熊本に対する7棟の木造住宅の1階最大応答変位を示す。なお、1階の最大応答変位のみを図示した理由は、益城町の木造住宅の被害では、ほとんどの木造住宅が1階の地震応答変位が大きくなって、傾斜や倒壊の被害を受けていたためである<sup>14)</sup>。

図9-A～9-Gの凡例の白抜きは、強震動原波EW方向を木造住宅のX方向に、原波NS方向をY方向に入力した解析結果である。また凡例の黒塗りはそれぞれの木造住宅の敷地配置角度に座標変換した強震動を、入力した解析結果を示している。

図9-A～図9-Gより全体的にX方向1階応答変位がY方向1階応答変位よりも大きく、図9の図中に示す実線(X:Y=2:1)近くに分布し、強震動によってはその実線より下に分布する強震動もある。A氏～G氏の各木造住宅において、X方向の1階応答変位が大きくなっていることがわかる。

図9-A・9-B・9-D・9-E・9-Gから、A氏・B氏・D氏・E氏・G氏の木造住宅のX方向1階応答変位は、C氏・E氏の木造住宅のX方向1階応答変位に比べて、おおむねほとんどの前震・本震強震動において大きくなっている。C氏・E氏の木造住宅は、比較的X方向のベースシャー係数が先の図5-2からもわかるように、0.4以上と大きいため、A氏・B氏・D氏・E氏・G氏よりも小さくなっていると考えられる。

図9-A・9-B・9-D・9-Eから、東方向から角度をもって敷地に配置されているA氏・B氏・D氏・

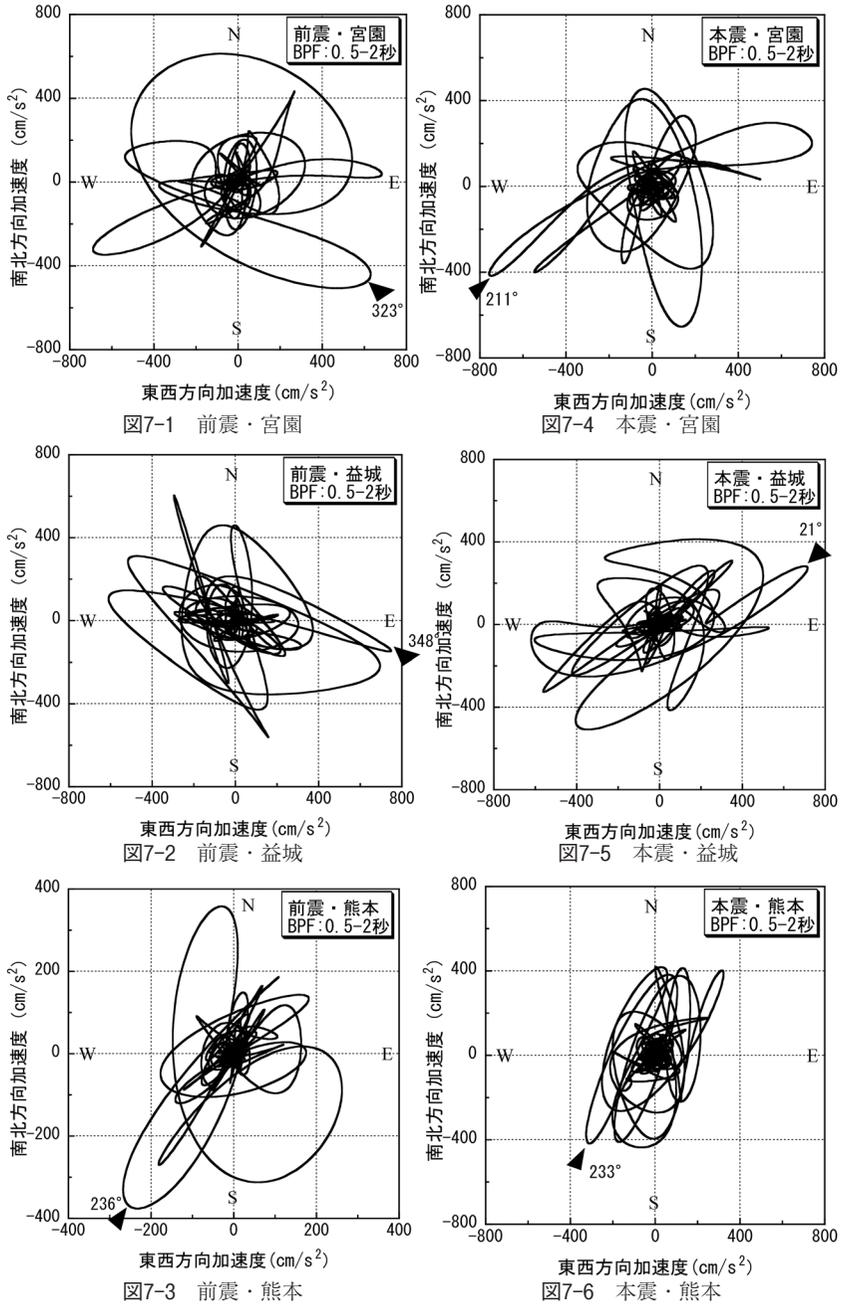


図7 前震・本震強震動の水平2成分平面軌跡

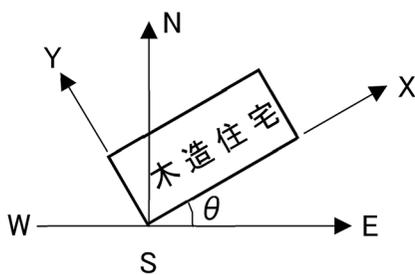


図8-1 木造住宅の敷地配置角度

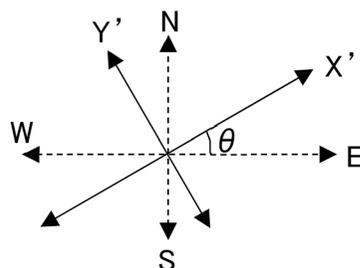


図8-2 強震動の座標変換

図8 木造住宅の敷地配置角度と強震動の座標変換

E氏のX方向・Y方向の1階応答変位(凡例：黒塗り)は、原波入力時の応答変位(凡例：白抜き)と比較すると、図9-A(A氏木造住宅)の本震熊本を除くと、最大3cm程度の差が生じていることがわかる。このように、前震・本震の違い及び強震動種類によって、応答変位が大きくなる場合もあれば、小さくなる場合もある。特に、本震宮園の原波入力時の応答変位は非常に大きな変位応答量であるが、敷地配置角度を考慮した強震動が入力されると、B氏及びD氏のX方向1階応答変位はさらに大きくなる。

このように、木造住宅が角度をもって敷地内に配置されている場合、強震動の入力特性によって応答変位が変わるケースがある。木造住宅の被害を分析する上においては、木造住宅の敷地配置角度に関しても留意する必要がある。

次に、図10-1・10-2・10-3には、前震宮園、益城及び熊本の強震動別に関するA氏～G氏の1階応答変位を、図10-4・10-5・10-6には、同じく本震宮園、益城及び熊本の強震動別に関するA氏～G氏の1階応答変位を示す。

各木造住宅のX方向の1階応答変位に関して、図10-4の本震宮園及び益城の強震動においては、A氏・B氏・D氏・F氏・G氏の応答変位と、C氏・E氏の木造住宅のX方向1階応答変位にやや大きな違いが見られる。これは先述した図9と同様にベースシヤー係数の違いによるものと考えられる。

また、図10-1～図10-3のE氏木造住宅は、「 $-10^\circ$ 」の敷地配置角度であるため、前震強震動

では、他の強震動比べてX方向1階応答変位には大きな差が生じないものの、本震強震動では、3.4節にて考察した本震強震動の南西-北東方向の強震方向軸(H1)の影響によって、他の強震動に比べてその応答量が小さくなっていると思われる。

図10-3及び図10-6の前震及び本震熊本では、A氏を除く各住宅において、図中実線よりも(X:Y=2:1)よりも上に分布しており、本震宮園や本震益城に比べると、X方向応答変位がY方向応答変位の2倍程度にはなっていない。

図10-4の本震宮園では、A氏・B氏・D氏・F氏・G氏のX方向1階応答変位が70cm程度となり、層間変形角1/3.9となって、木造住宅が全壊・倒壊するとされる層間変形角1/10を大きく上回る応答量となっている。

図10-5の本震益城では、同じくA氏・B氏・D氏・F氏・G氏のX方向1階応答変位が40cm程度、若しくはそれ以上となり、層間変形角1/6.8程度となって、本震益城においても層間変形角1/10を上回る応答量となっている。

図10-6の本震熊本では、A氏のX方向1階応答変位が37cm程度となり、他の木造住宅よりも大きくなっている。これは先の図6-2の本震熊本の速度応答スペクトルによれば、A氏のX方向固有周期0.7秒付近と、他の木造住宅固有周期0.3秒付近の速度応答量はおよそ同程度となっている。そのため、A氏木造住宅のX方向1階応答変位が他の木造住宅よりも大きくなるのは、表1に示す重量が他の木造住宅よりも大きいためと思わ

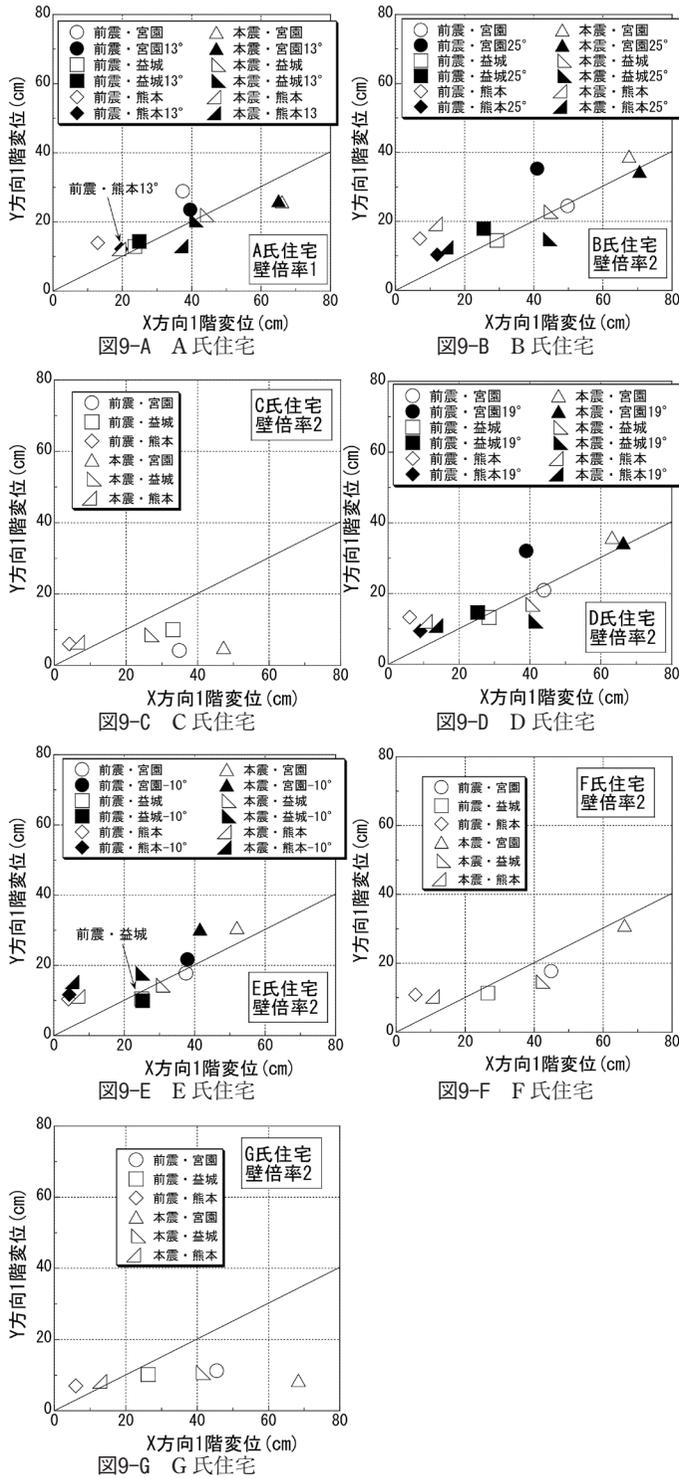


図9 7棟の被害木造住宅の1階応答変位(前震・本震強震動)

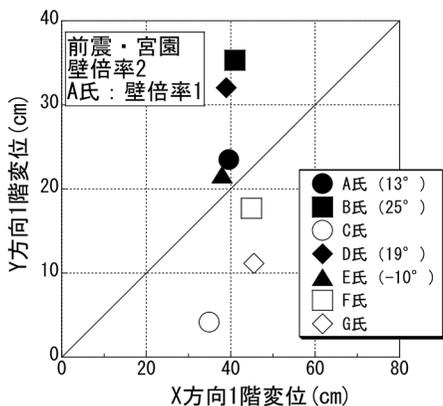


図10-1 前震・宮園

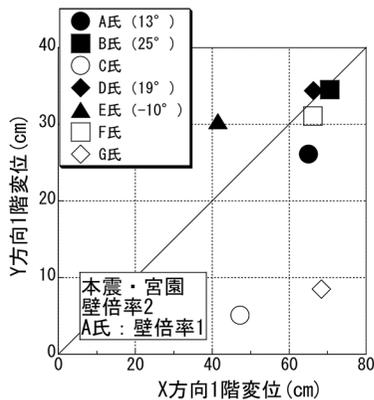


図10-4 本震・宮園

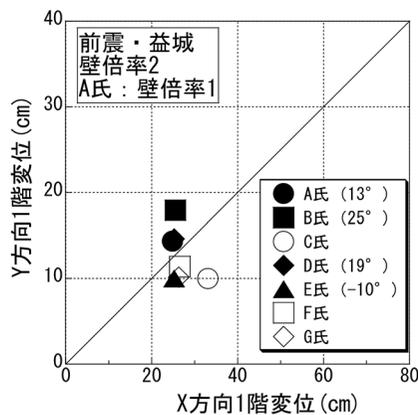


図10-2 前震・益城

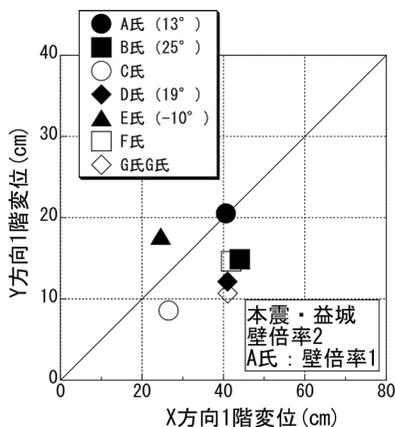


図10-5 本震・益城

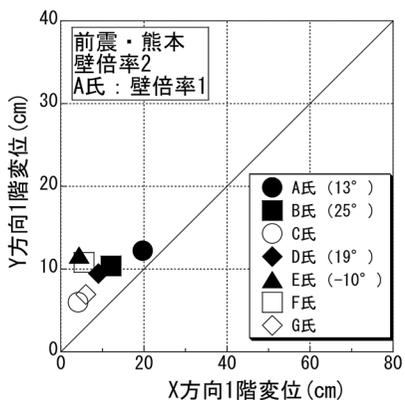


図10-3 前震・熊本

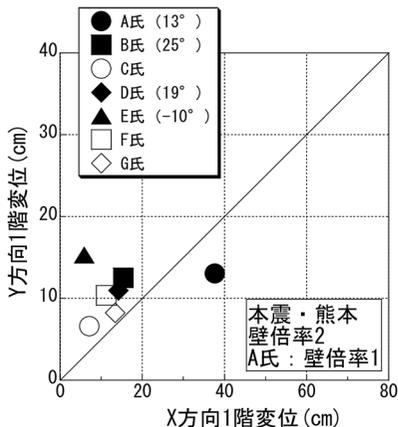


図10-6 本震・熊本

図10 前震・本震強震動別の被害木造住宅1階応答変位

れる。

日本建築学会の悉皆被害調査によれば、その調査分析対象建物(その内訳は木造83%, RC造2%, S造12%, その他3%)の約7割が東西方向に大きな被害を受けたとする報告がなされている<sup>3)</sup>。

本論文の7棟の被害木造住宅は、日本建築学会の悉皆被害調査対象区域に隣接しており、熊本地震当時、益城町に存在していた木造住宅であることをふまえ、そして7棟の木造住宅の地震応答解析によって、X方向(桁行)の1階応答変位が大きくなる結果を得た。7棟の限られた被害木造住宅の情報であるものの、熊本地震では、東西方向に大きな被害を受けた木造住宅が多かったという被害報告と一致する傾向となっている。

#### 4. 調査対象区域の木造住宅の被害に関する考察

##### 4.1 木造住宅の敷地配置角度

前章前節3.6において、7棟の各木造住宅の原波入力時と敷地配置角度を考慮した入力時の検討では、1階応答変位に各木造住宅及び強震動によっては、最大3cm程度の差をもたらし、大きくなるケースも確認された。

そこで本章では、国土地理院の基盤地図情報から、益城町の基盤地図情報(2016年4月1日データ)を取得<sup>15)</sup>し、益城町基盤地図情報より得た調査対象区域の建物形状から、東方向から建物のX方向が反時計回りになす角度を算定する。

図11に示すように木造住宅のX方向が45°までは $\theta_1$ (反時計回り)の角度と、 $\theta_1$ が45°を超えた場合には $\theta_2$ (時計回り)の角度で木造住宅の敷地配

置角度を把握する。このようにして算出した調査対象区域の木造住宅の敷地配置角度に関する棟数の頻度図を図12に示す。

なお、調査対象区域の建物は、鉄骨造倉庫や鉄筋コンクリート造建物が数棟見られたものの、木造住宅が多く点在する区域である。調査対象区域には、図12から1065棟の建物があり、この大部分は木造住宅と判断しても良いと考えられる。また、規模の大きな建物、調査時において明らかに木造住宅ではない建物、そしてゼンリン住宅地図<sup>16)</sup>も参照して、木造住宅以外は棟数から可能な限り除いている。

図12から調査対象区域の木造住宅のX方向は、敷地内での配置角度が東方向から0°~40°の反時計回りに敷地配置されている木造住宅が多いことがわかる。

7棟の木造住宅のうちA氏(図3-A)・B氏(図3-B)・D氏(図3-D)・E氏(図3-E)・F氏(図3-F)の木造住宅は、X方向がY方向よりも長いX方向長手の木造住宅である。調査対象区域の1065棟の木造住宅からX方向がY方向よりも長いX方向長手の木造住宅を抽出すると589棟あった。この589棟のX方向長手の木造住宅の敷地配置角度に関する棟数の頻度図を図13に示す。図13からX方向長手の木造住宅も、図12と同様に敷地内での配置角度が東方向から0°~40°にかけて多く敷地配置されていることがわかる。

本論文の調査対象区域では、X方向長手の木造住宅が589棟、Y方向長手の木造住宅は476棟(今回正方形も含む)となり、X方向長手の木造住宅が半数以上多く点在していることがわかる。

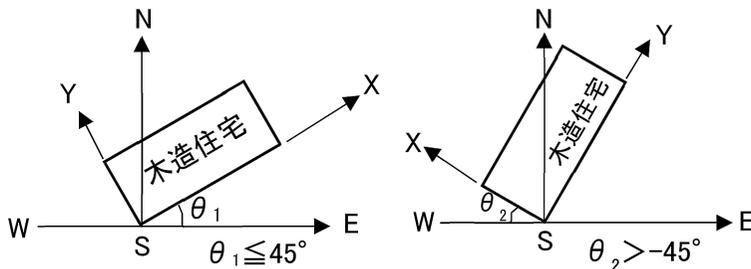


図11 木造住宅の敷地配置角度

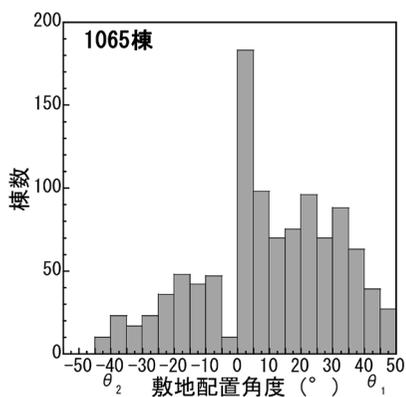


図12 調査対象区域の木造住宅の敷地配置角度の棟数

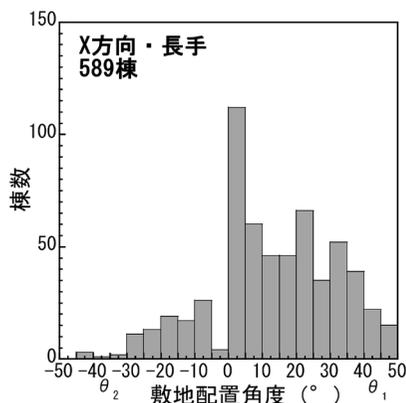


図13 X方向長手木造住宅の敷地配置角度の棟数

木造住宅の敷地内における配置計画は、敷地に接する道路に大きな影響を受ける。建物は道路に沿うように敷地配置されるために、接道が東方向から傾いていると、木造住宅の敷地配置角度も傾くことが多い。益城町は主要地方道28号線（熊本高森線）が、先に示した図1及び図2からわかるように、南西－北東に益城町を横断して、この地方道28号線から調査対象区域に補助幹線道路が通っている。さらにこの補助幹線道路から区画道路が木造住宅の敷地に接道している。この敷地に接道する道路を考慮して、建築設計では木造住宅が敷地配置される。

そのため、益城町を地方道28号線が南西－北東

方向に通るため、これに伴って敷地配置角度が $0^{\circ} \sim 40^{\circ}$ の木造住宅が多くなっていると判断できる。

#### 4.2 調査対象区域における木造住宅の敷地配置角度に伴う被害木造住宅の1階地震応答変位

前節4.1から、木造住宅の敷地内における配置は、敷地に接する道路の影響を受け、敷地に木造住宅が配置される。そこで、7棟の被害木造住宅の敷地配置角度の違いによるX方向1階応答変位に関する解析を行う。

7棟の木造住宅のX方向が東方向からある角度を有して敷地配置されていた場合を仮定して、前震・本震の強震動に対するX方向1階応答変位の解析結果を図14-A～図14-Gに示す。

なお、解析手法は、木造住宅を回転させるのではなく、原波水平2成分の強震動を3.5節と同様に東方向から反時計回りに、 $10^{\circ}$ 毎角度を持たせた強震動を作成して、木造住宅のX方向に強震動のX成分を、Y方向に強震動のY成分を入力した。

図14-A～14-Gに横軸を敷地配置角度（ $0^{\circ}$ （原波）～ $170^{\circ}$ ）、縦軸をX方向1階応答変位とした図をA氏～G氏の木造住宅毎に示す。図14-A・14-B・14-D・14-Eには、該当する木造住宅の実際の敷地内配置角度を点線または矢印で表示している。

図14-A・14-B・14-D・14-F・14-Gでは、本震宮園のX方向1階応答変位が60 cmを超えている。3.6節においても考察したように、A氏・B氏・D氏・F氏・G氏のX方向1階応答変位が、C氏・E氏に比べて大きくなる傾向が図14-A・14-B・14-D・14-E・14-F・14-Gからも見られる。

本震宮園・益城及び前震宮園は、敷地配置角度によるX方向1階応答変位が大きく変動する。これに対して、前震・本震熊本は、敷地配置角度による大きな応答の違いは、A氏木造住宅を除いて、あまり見られない。

次に図15-A～図15-Gに横軸を敷地配置角度（ $0^{\circ}$ （原波）～ $170^{\circ}$ ）、縦軸をY方向1階応答変位

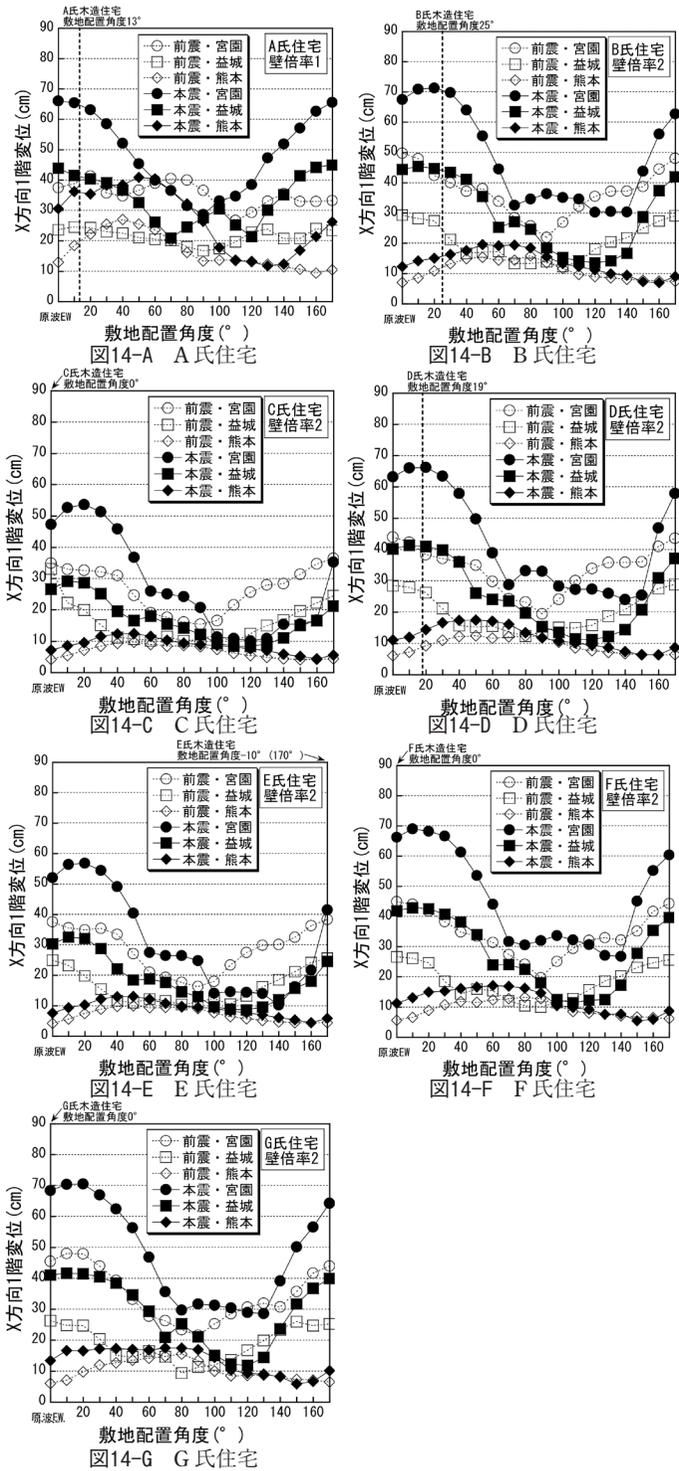


図14 敷地配置角度における木造住宅X方向1階応答変位

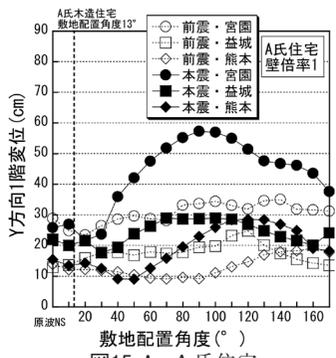


図15-A A氏住宅

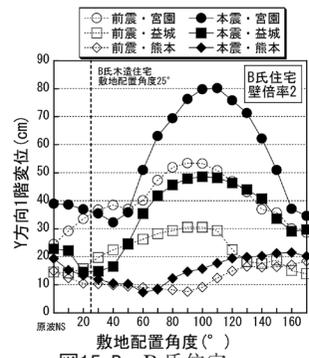


図15-B B氏住宅

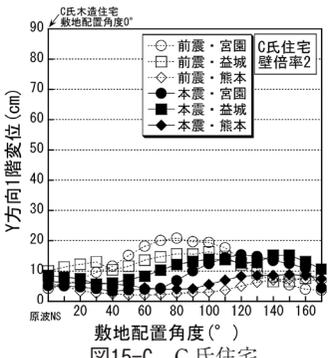


図15-C C氏住宅

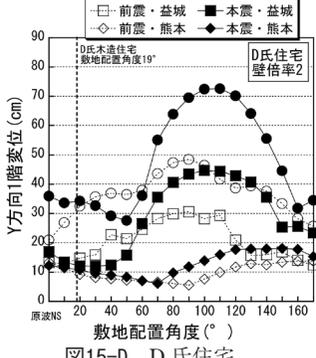


図15-D D氏住宅

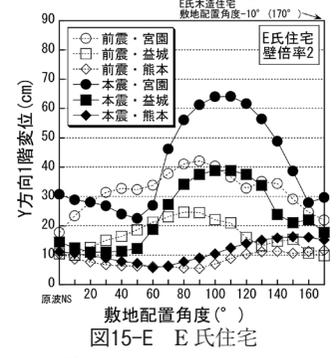


図15-E E氏住宅

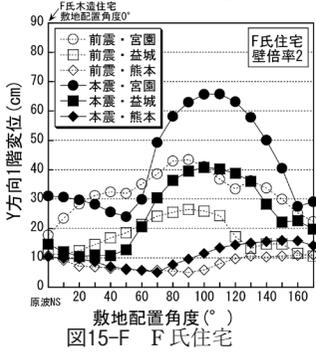


図15-F F氏住宅

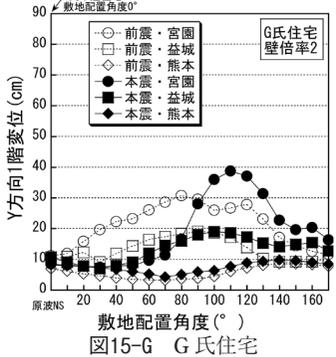


図15-G G氏住宅

図15 敷地配置角度における木造住宅Y方向1階応答変位

とした図を A 氏～G 氏の木造住宅ごとに示す。

図15-B・15-D・15-E・15-Fについては、敷地配置角度 $60^\circ$ から本震宮園・益城及び前震宮園において、Y方向の1階応答変位が大きくなるような傾向がある。 $90^\circ\sim 100^\circ$ 程度の敷地配置角度において、最も大きいY方向1階応答変位となる。これは $90^\circ$ になると原波EW成分がNS成分と入れ替わってY方向の1階応答変位が大きくなるためである。図15-AのA氏木造住宅では、本震宮園において、配置角度 $40^\circ$ 程度からY方向1階応答変位が大きくなる傾向にある。図15-Cの木造住宅は、他の木造住宅のY方向1階応答変位に比べて、強震動に依らず応答変位が小さく、また配置角度による大きな違いも見られない。これは、図5-1及び図5-2から、Y方向の固有周期が短く、そしてベースシャー係数が最も大きいためであると思われる。

図16-1～図16-6に前震・本震の強震動別のA氏～G氏の敷地配置角度に対するX方向1階応答変位を示す。なお、図中にある「●」A氏( $13^\circ$ )、「■」B氏( $25^\circ$ )、「◆」D氏( $19^\circ$ )及び「▲」E氏( $-10^\circ = 170^\circ$ )については、実際の各木造住宅の敷地配置角度を示している。

図16-1に示す前震宮園では、A氏及びG氏においてX方向1階応答変位が敷地配置角度 $0^\circ\sim 30^\circ$ において大きくなるが、他の木造住宅では配置角度が大きくなってもX方向1階応答変位は小さくなる。

図16-2の前震益城では、すべての木造住宅において、敷地配置角度が大きくなっても、各木造住宅のX方向1階応答変位は小さくなる傾向にある。

図16-3の前震熊本については、A氏を除いて、敷地配置角度が $0^\circ\sim 140^\circ$ 程度にかけてX方向1階応答変位が大きくなる傾向にある。

ところで、3.4節の前震宮園及び益城の強震方向軸は、宮園 $143^\circ$ 、益城 $168^\circ$ であった。前震強震動の強震方向軸に該当する敷地配置角度において、図16-2の前震・益城は1階応答変位がやや大きくなる傾向が見られる。一方、図16-1の前震・宮園は、強震方向軸に該当する敷地配置角度にお

いて、1階応答変位が大きくなる傾向を見て取ることはできない。

図16-4の本震宮園では、敷地配置角度 $0^\circ\sim 40^\circ$ 程度にかけて配置角度 $0^\circ$ (原波EW成分入力)よりもX方向1階応答変位が大きくなっていることがわかる。また、図16-5の本震益城についてもA氏を除く、X方向1階応答変位が敷地配置角度 $0^\circ\sim 30^\circ$ 程度において、配置角度 $0^\circ$ (原波)よりもやや大きくなる傾向にある。図16-6の本震熊本では、A氏を除くX方向1階応答変位が、本震宮園及び益城に比べるとX方向1階応答変位は小さいが、敷地配置角度 $0^\circ$ (原波) $\sim 100^\circ$ 程度において、敷地配置角度 $0^\circ$ よりも大きくなる傾向にある。

以上から、図16-4の本震宮園及び図16-5の本震益城から、木造住宅のX方向が東方向から反時計回りに $0^\circ\sim 30^\circ$ の敷地配置角度を有していたら、敷地配置角度 $0^\circ$ (原波)よりも、X方向1階応答変位が大きくなる可能性がある。この木造住宅の $0^\circ\sim 30^\circ$ の敷地配置角度は、3.4節の本震宮園及び益城の強震方向軸であった宮園 $31^\circ$ ・益城 $21^\circ$ とおおよそ整合する。また、前節4.1の調査対象区域に多く存在する木造住宅の敷地配置角度(図12及び図13)ともおおよそ一致する角度となっている。

図17-1～図17-6に前震・本震の強震動別のA氏～G氏の敷地配置角度に対するY方向1階応答変位を示す。なお、図17-1～図17-6の敷地配置角度は、北から各木造住宅のY方向(梁間)が反時計回りになす角度である。

図17-1に示す前震宮園では、A氏を除いてY方向1階応答変位が敷地配置角度 $0^\circ\sim 160^\circ$ にかけてずっと原波NS成分より大きくなる傾向にある。図17-2の前震益城においても、同じ傾向にある。図17-1及び図17-2から、Y方向1階応答変位が最も大きくなる敷地配置角度は $80^\circ\sim 100^\circ$ 程度である。一方、図17-3の前震熊本では、 $0^\circ\sim 120^\circ$ までは原波NS成分より小さく、敷地配置角度が $120^\circ$ より大きくなると、原波NS成分入力時よりY方向1階応答変位が大きくなる。

図17-4及び図17-5の本震宮園及び益城では、敷

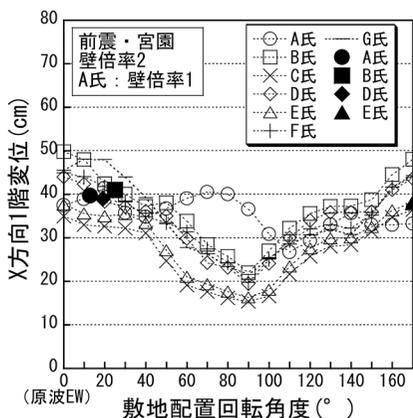


図16-1 前震・宮園

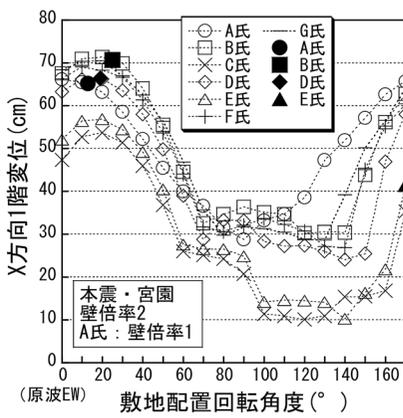


図16-4 本震・宮園

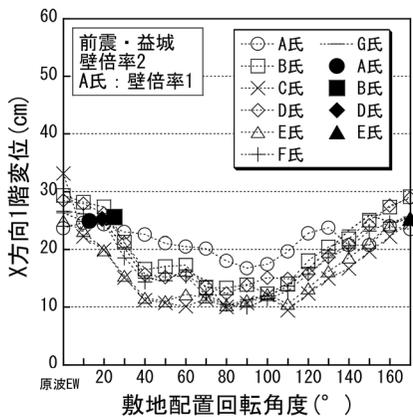


図16-2 前震・益城

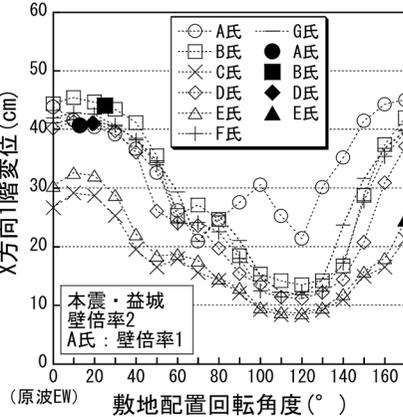


図16-5 本震・益城

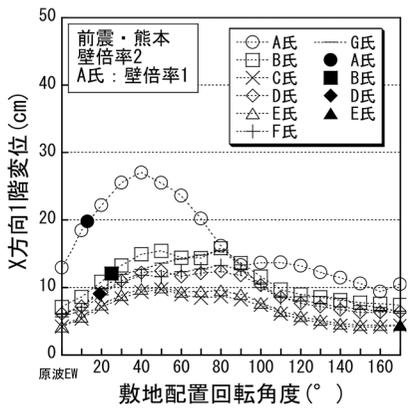


図16-3 前震・熊本

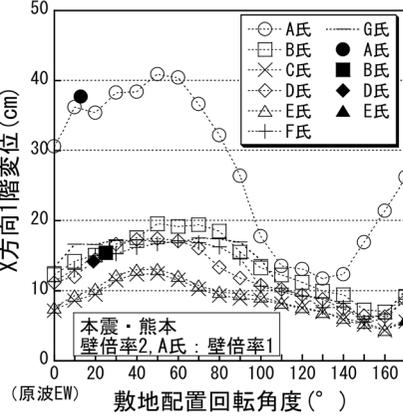


図16-6 本震・熊本

図16 前震・本震強震動別の敷地配置角度における木造住宅のX方向1階応答変位

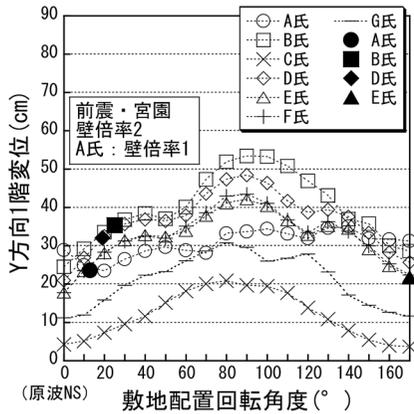


図17-1 前震・宮園

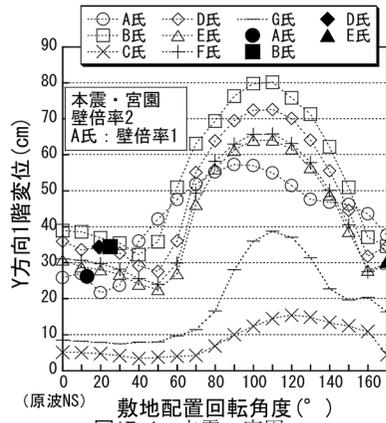


図17-4 本震・宮園

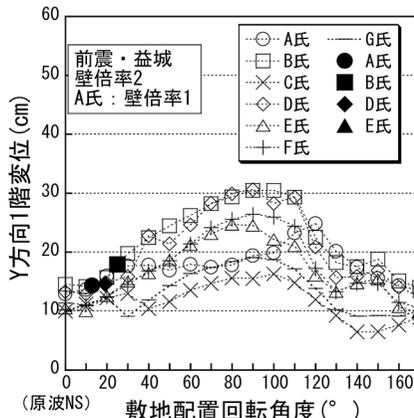


図17-2 前震・益城

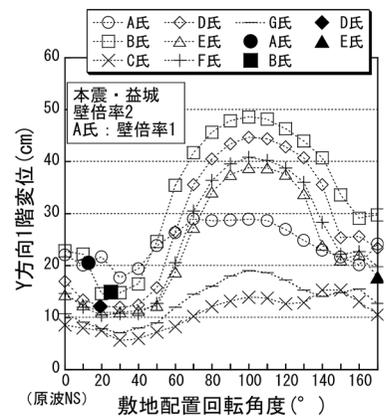


図17-5 本震・益城

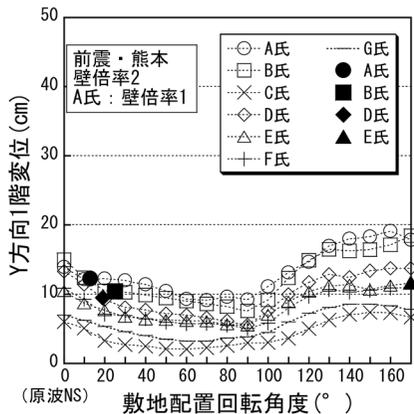


図17-3 前震・熊本

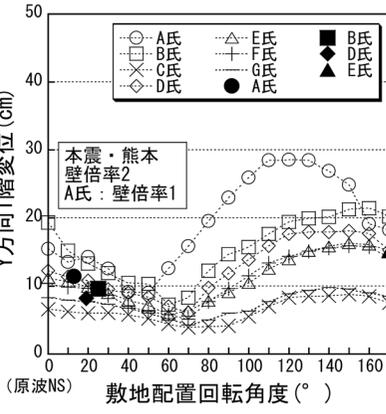


図17-6 本震・熊本

図17 前震・本震強震動別の敷地配置角度における木造住宅のY方向1階応答変位

地配置角度 $60^\circ$ を超えると、Y方向1階応答変位が原波NS成分入力時よりも急に大きくなる。Y方向1階応答変位が最も大きくなる配置角度は、 $90^\circ \sim 120^\circ$ である。

図17-4の本震宮園のB氏木造住宅Y方向1階応答変位は敷地配置角度 $100^\circ \sim 110^\circ$ では80 cmに達する。これは図16-4の本震宮園のB氏X方向1階応答変位の敷地配置角度 $10^\circ \sim 20^\circ$ における70 cmを超える1階応答変位となる。

A氏、B氏、C氏及びD氏の木造住宅の本震宮園及び益城に対して、敷地配置角度 $0^\circ \sim 170^\circ$ におけるX方向及びY方向の1階応答変位について、図18-1～図18-8に示す。図18の各図は敷地配置角度が $0^\circ$ のとき木造住宅のX方向に原波EW成分が入力され、Y方向には原波NS成分が入力される。敷地配置角度 $90^\circ$ のときには、原波成分が交換され、X方向に原波NS成分が、Y方向に原波EW成分が入力される。

図18-1及び図18-2からA氏木造住宅の場合、敷地配置角度 $0^\circ$ 若しくは $170^\circ$ のときに、X方向1階応答変位が最大66 cmとなる。Y方向は $90^\circ$ のときに57 cm程度となる。図18-2の本震益城においても、図18-1に比べて応答量は小さくなるが、1階応答変位が最大となる敷地配置角度は同じ傾向にある。A氏木造住宅の図5-2のベースシヤー係数によれば、X方向のベースシヤー係数が0.1を下回り、Y方向のベースシヤー係数は0.13であり、Y方向がX方向より大きい。よって、入力地震動の特性も考慮する必要があるが、ベースシヤー係数が大きい方が、敷地配置角度によって最大となる1階応答変位は小さくなっている。

図18-3及び図18-4のB氏木造住宅の場合、X方向が最も大きくなる敷地配置角度は $20^\circ$ 、Y方向は $110^\circ$ である。B氏木造住宅は図5-2によればX方向のベースシヤー係数が0.33、Y方向のベースシヤー係数が0.28であり、X方向のベースシヤー係数が大きいため、Y方向の1階応答変位が、図18-3の本震宮園では敷地配置角度 $110^\circ$ において80 cmを超える応答量となる。これはX方向の敷地配置角度 $20^\circ$ 時の70 cmを超える応答量となっている。

図18-5及び図18-6のC氏木造住宅の場合、Y方向の1階応答変位は、A氏及びB氏の木造住宅に比べてかなり小さくなっている。これは図5-2のC氏木造住宅のY方向ベースシヤー係数が0.6以上とかなり大きいためである。図18-5の本震宮園の場合、X方向1階応答変位は敷地配置角度 $20^\circ$ の時に、50 cm以上となる。Y方向の1階応答変位は、敷地配置角度 $120^\circ$ 時に15 cm程度の応答変位となっている。C氏木造住宅のX方向が東から反時計回りに $90^\circ$ の角度を持って敷地配置されていた場合、X方向の1階地震応答量はかなり小さくなることになる。この場合には、Y方向の1階応答変位は少し大きくなるが10 cm程度の応答量となる。

図18-7及び図18-8のG氏木造住宅の場合、Y方向の1階応答変位は、C氏と同様にA氏及びB氏に比べてかなり小さくなっている。図5-2のG氏木造住宅のY方向ベースシヤー係数が0.5以上でありA氏及びB氏の木造住宅に比べて大きいためである。図18-7の本震宮園の場合、X方向1階応答変位は敷地配置角度 $20^\circ$ の時に70 cm程度となる。Y方向の1階応答変位は、敷地配置角度 $110^\circ$ 時に40 cm程度の応答変位となる。G氏木造住宅のX方向が東から反時計回りに $90^\circ$ の角度を持って敷地配置されていた場合、X方向の1階応答変位は、敷地配置角度が $0^\circ \sim 20^\circ$ に比べると半分以下の応答量となる。この時のX方向1階応答変位は30 cm程度となり、層間変形角 $1/10$ 以上にはなるものの、A氏及びB氏のような大きな応答量ではない。また、Y方向の1階応答変位は増加するがX方向と同じ30 cm程度である。

以上から、C氏及びG氏の木造住宅のような耐震性を有する木造住宅のX方向が東から反時計回りに $90^\circ$ の角度を持って敷地配置されていた場合、X方向が東西方向に敷地に配置された場合よりも、益城町の木造住宅の被害は軽減されていた可能性があったことを示唆するものである。

#### 4.3 調査対象区域における木造住宅の敷地配置角度と被害との関係

調査対象区域の木造住宅の現地調査について

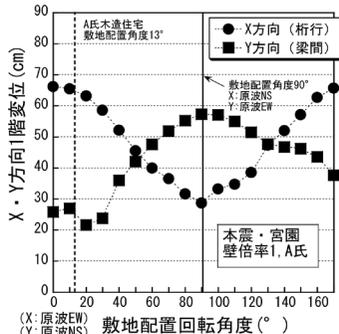


図18-1 本震・宮園 (A氏)

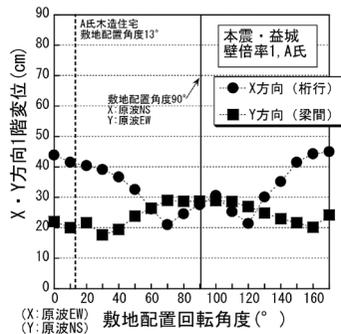


図18-2 本震・益城 (A氏)

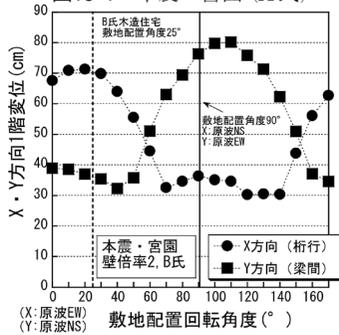


図18-3 本震・宮園 (B氏)

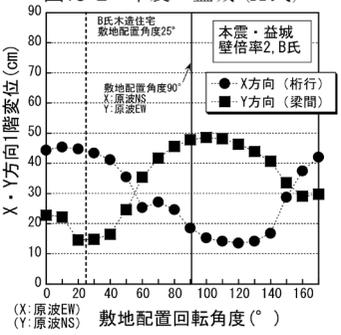


図18-4 本震・益城 (B氏)

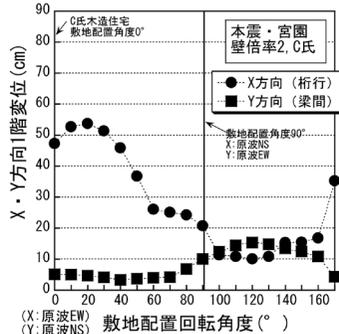


図18-5 本震・宮園 (C氏)

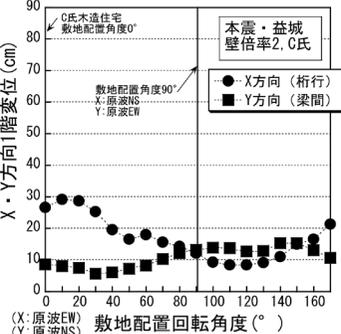


図18-6 本震・益城 (C氏)

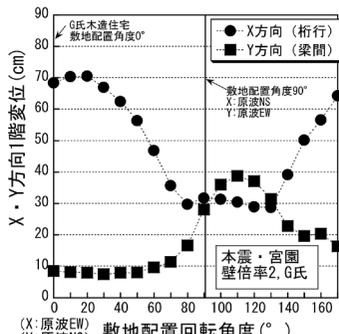


図18-7 本震・宮園 (G氏)

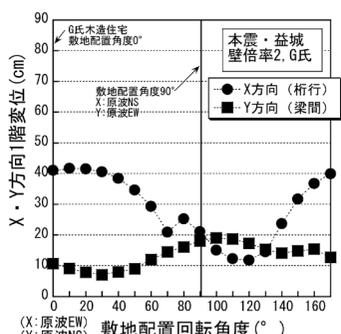


図18-8 本震・益城 (G氏)

図18 本震強震動別の敷地配置角度における木造住宅のX方向・Y方向の1階応答変位

は、調査日数と調査人員との関係もあり、調査対象区域の被害木造住宅の被害の方向に関する限定された現地調査しか行えなかった。しかし、日本建築学会悉皆調査と本論文の調査対象区域が重なった部分(図1のハッチ部分)では、学会悉皆調査によって被害率が算定されている。

そこで、図19に学会調査と本論文調査が重なった区域を示し、その部分に日本建築学会による悉皆調査に用いられている100 m × 100 m のメッシュを付け加えている。

本論文では、この日本建築学会の100 m × 100 m メッシュに1～20の番号を振り分ける。学会悉皆調査では、このメッシュ毎にD4以上(D4：全壊、D5：倒壊)の被害率、及び1981年以前の建設年建物占有率が算出されている。

なお、本節による検討においては図19に示す点線内の木造住宅を対象とするため、メッシュ番号3・4・7・13については、100 m × 100 m メッシュ内において建物数が10棟に満たないため、検討項

目から除外した。

学会悉皆調査によるメッシュ内の全棟数に占める1981年以前の建物の占有率を横軸に、学会悉皆調査の被害率(D4以上棟数 / 全棟数)を縦軸にした関係図を図20に示す。1981年以前の占有率が40%を上回ると、D4以上の被害率が大きくなる。ただし、メッシュ番号14は、1981年以前の占有率が60%程度であるものの、D4以上の被害率は0%となっている。

次に、1つのメッシュに含まれる木造住宅棟数に対して敷地配置角度が $0^{\circ} \sim 30^{\circ}$ のX方向長手木造住宅の占有率を横軸に、学会悉皆調査の被害率(D4以上棟数 / 全棟数)を縦軸にした関係図を図21に示す。敷地配置角度が $0^{\circ} \sim 30^{\circ}$ のX方向長手木造住宅の占有率が45%程度になると、D4以上の被害率が生じている。しかし、占有率が45%以上のメッシュ番号においても、D4被害率が0%となっているメッシュ番号6・8がある。

図20と図21を比較すると、敷地配置角度が



図19 調査対象区域一部に日本建築学会悉皆調査の100 m × 100 m メッシュを加筆

0°～30°のX方向長手木造住宅の占有率よりも、1981年以前の建物占有率の方が、D4以上の被害率との相関は良い。ただし、被害を評価する指標として、X方向長手木造住宅の占有率についても、その可能性があるものと判断できる。

ところで木造住宅の被害を把握する上において、その区域における強震動入力の高さは重要となる。特に、平成28年熊本地震の益城町においては、県道28号線と秋津川に挟まれた区域において、建物被害が甚大であったため、その強震動入力の区域毎の高さが注目された。この問題に対しては、甚大な被害が生じた地区の南北の側線による強震動入力評価<sup>17)</sup>は行われており、被害の大きかった区域の強震動の高さが、他の区域に比べて大きかったことが示されている。しかし、本論文で取り上げているメッシュサイズ(100m×100m)までの詳細な強震動入力の高さの評価までは至っていない。熊本地震では、当初から秋津川沿いの被害率の低さが指摘されていた<sup>18)</sup>。

よって本論文では、上記のような甚大な被害が生じた益城町の詳細な強震動の高さに関しては、まだ研究途上にあることに鑑みて、学会悉皆調査においてD5被害が生じてその被害率が高かったメッシュ番号は、強震動入力が高かったと判断し、逆に、D5被害率0%のメッシュ番号区域は、強震動の入力高さが小さかったという仮定に基づいて、図20及び図21のD4以上の被害率についての評価指標を再評価する。

図22に学会悉皆建物被害調査のD5被害率を横軸に、D4以上の被害率を縦軸に示す。図22からD5被害率よりもD4以上の被害率は大きくなる。ここで、図22のメッシュ番号1・2・5・6・8・12・14については、D5及びD4の被害率が0%となっているメッシュ番号区域である。このメッシュ番号1・2・5・6・8・12・14は、強震動の高さが他の区域に比べて小さかったと本論文では推測し、メッシュ番号に□記号を表示して、図20及び図21に示している。

図20のメッシュ番号14においては、1981年以前の建物占有率が60%近くでも、D4被害率が0%となる理由は、強震動の高さがそれ程大きくなかつ

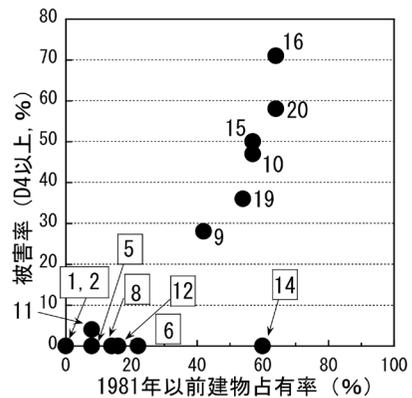


図20 敷地配置角度(30°以下)と被害率との関係

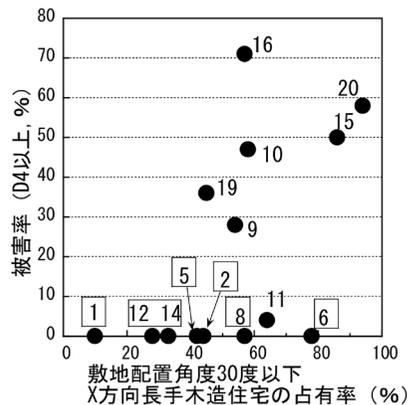


図21 1981年以前建物占有率と被害率との関係

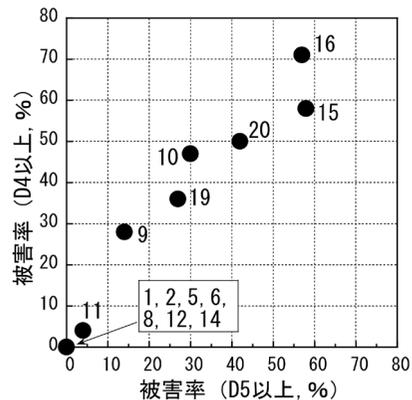


図22 D4被害率とD5被害率との関係

たことが影響していると思われる。

また図21においては、敷地配置角度が $0^{\circ} \sim 30^{\circ}$ のX方向長手木造住宅の占有率が45%を超えるメッシュ番号6・8についても、強震動入力小さいため、X方向長手の敷地配置角度が $0^{\circ} \sim 30^{\circ}$ である木造住宅が多く存在しても、D4以上の被害率が大きくならなかった可能性があると思われる。

このように強震動入力の強さを考慮すると、図20と図21から、被害を示す評価指標として、最初に、1981年以前建物占有率が上げられ、次にこれを補う被害評価指標として、X方向長手木造住宅の敷地配置角度が、被害評価指標として利用できる可能性を有している。

## 5. まとめ

本論文では、平成28年熊本地震の被害の大きかった益城町において、全壊・倒壊の大きな被害を受けた木造住宅の被災者7名に聞き取り調査を行い、7名が所有していた被害木造住宅の平面図を再現した。

そして、この7棟の被害木造住宅の平面計画情報に基づき、木造住宅の地震応答解析を行って、下記の知見を得ることができた。

(1) 熊本地震当時、益城町において現存していた7棟の木造住宅の平面図を再現した。7棟うち5棟(A氏・C氏・D氏・E氏・G氏)の平面計画では、1階には部屋(和室・洋室)が南側に面して連続して配置され、これに縁側や廊下と一緒に併設されることにより、この部分の間仕切り及び開口部にはサッシ・ふすま・障子が使用され、1階部分に大きな室内空間があることがわかった。

また、B氏・D氏の木造住宅は、2階建築面積が大きい、総2階建に近い木造住宅であった。

さらに、A氏・B氏・C氏・D氏・G氏の木造住宅は、長年居住している間に、増築を行っていることがわかった。

(2) 調査区域では、木造住宅のX方向が東方向から反時計回りに $0^{\circ} \sim 40^{\circ}$ で多く敷地配置

されていた木造住宅に、宮園及び益城のような東方向から反時計回りに $31^{\circ} \cdot 21^{\circ}$ に強震方向軸を持つ本震強震動が作用した場合、木造住宅X方向に大きな1階変位応答量が生じ、木造住宅の被害が大きくなった可能性がある。

(3) 益城町の木造住宅の被害については、木造住宅の敷地配置角度を用いて、平成28年熊本地震において観測されたような入力地震動特性を有する強震動が作用した場合、木造住宅の被害評価指標として利用できる可能性がある。

## 謝辞

被害木造住宅の聞き取り調査に応じていただきました7名の被災者の方には、心より御見舞い申し上げますとともに、厚く御礼申し上げます。

熊本県土木部熊本土木事務所景観建築課の方々には、業務の多忙の中、資料に関しまして閲覧環境をご提供いただきました。茲に記して深甚の謝意を申し上げます。

データの整理及び図面の作成については、高知工業高等専門学校環境都市デザイン工学科卒業生の山本紘範君、及び安藤春恵さんの多大な御協力をいただきました。記して御礼申し上げます。

強震記録については、気象庁及び国立研究開発法人防災科学技術研究所の強震観測網による観測記録を使用させていただきました。

なお、現地調査及び本論文に関しては、平成29年度日本自然災害学会の緊急災害調査補助、及び平成29年度一般社団法人四国クリエイト協会による研究助成を受け実施いたしました。

以上、諸氏及び諸機関に関して記して謝意を申し上げます。次第である。

## 参考文献

- 1) 田中 圭：2.2木造建築物の被害の概要－益城町の悉皆調査結果、2016年熊本地震による木造建築物の被害調査報告会、日本建築学会、pp.32-42、2017.1
- 2) 池田雄一：平成28年熊本地震における熊本県益

- 城町の木造家屋の傾斜・倒壊方向に及ぼす前震・本震強震動の水平2成分軌跡とその強さの影響, 第36回日本自然災害学会学術講演会講演概要集, pp.33-34, 2017.9
- 3) 日本建築学会: 4.4 被害統計, 2016年熊本地震災害調査報告書, pp.35-42, 2018.6
  - 4) 中川貴文: 2.5益城町中心部におきえる木造建築物の被害の分析, 2016年熊本地震による木造建築物の被害調査報告会, 日本建築学会, pp.71-85, 2017.1
  - 5) 日本建築構造技術者協会: 5.1復元力特性と解析モデル, 第5章耐震設計法, 木造建築構造の設計, オーム社, 第1版, pp.69-76, 2005.5
  - 6) 河合直人: 壁量と壁倍率, 第Ⅲ章各要素の評価法と検証実験, 木造住宅の構造設計 [改正基準法と品確法], 建築技術2001年3月号別冊6, pp.44-47, 2001.3
  - 7) 西生 建・野中悠貴・宮澤健二: 木造住宅の耐震診断法に関する研究, その2壁仕様の実態調査と建設年代モデル, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.171-172, 2003.9
  - 8) 日本建築防災協会: 2.2床均し荷重, 2固定荷重・積載荷重, I耐震診断法の参考資料, 2012年改訂版木造住宅の耐震診断と補強方法, 例題編・資料編, 資料編, pp.127-128, 初版第3刷, 2013.5.
  - 9) 日本建築構造技術者協会: 9.1耐震診断手法の内容と特徴, 第9章既存軸組構造の耐震診断と補強, 木造建築構造の設計, オーム社, 第1版, pp.139-146, 2005.5
  - 10) 河合直人・岡部 実・渡辺一正: 在来軸組構法耐力壁の耐震性能, その2仮動的試験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.135-136, 1998.9
  - 11) 田端千夏子・大橋好光: 微動測定とその耐震診断への応用の可能性, -木造建築物の耐震診断法に関する研究その2-, 日本建築学会構造系論文集, 第616号, pp.141-147, 2007.6
  - 12) 柏 尚稔・新井 洋・中川博人: 2016年熊本地震における益城町庁舎の強震記録に含まれる動的相互作用効果, 日本建築学会構造系論文集, 第84巻, 第756号, pp.183-193, 2019.2
  - 13) 境 有紀・神野達夫・瀬戸一紀: 震度の高低によって地震動の周期帯を変化させた震度算定法の提案, 日本建築学会構造系論文集, 第585号, pp.71-76, 2004.11
  - 14) 日本建築学会: 4.4被害統計, 2016年熊本地震災害調査報告書, pp.36-37, 2018.6
  - 15) 国土地理院: 基盤地図情報ダウンロードサービス, データ取得日2018年10月12日 <https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>
  - 16) 株式会社ゼンリン: ゼンリン住宅地図, 熊本県上益城郡益城町, 2014.9
  - 17) 貴堂峻至・永野正行・引間和人: 2016年熊本地震の震源近傍における強震動の再現解析と空間分布, 日本建築学会構造系論文集, 第757号, pp.373-383, 2019.3
  - 18) 国土交通省国土技術政策総合研究所, 国立研究開発法人建築研究所: 5.2益城町中心部における悉皆調査, 5章地震動による建築物等の被害, 平成28年(2016年)熊本地震建築物被害調査報告(速報), 国総研資料第929号, 建築研究資料第173号, pp.5.2-1~5.2-10, 2016.9
- (投稿受理: 2019年4月5日  
訂正稿受理: 2019年7月3日)

## 要 旨

本論文では, 平成28年熊本地震の震度7の揺れに襲われた益城町の目測調査を行った。その調査対象地区の7名が所有していた被害木造住宅の聞き取り調査を行って, 7棟の被害木造住宅の平面図を作成した。この被害木造住宅の平面図を基にして, 益城町やその近郊で観測された強震動を用い, 地震応答解析を行って, 7棟の被害木造住宅の1階地震変位応答量を定量評価した。

そして, 調査対象区域の木造住宅の敷地内配置角度に着目して, 熊本地震における木造住宅の被害に関する新しい被害評価指標を抽出して, 益城町の木造住宅の被害に関する一つの考察を試みた。