



益城町の罹災証明データに基づく2016年熊本地震に対する 建物被害関数の構築

須藤巧哉¹⁾, 山崎文雄²⁾, 松岡昌志³⁾, 井ノ口宗成⁴⁾,
堀江啓⁵⁾, 劉ウエン⁶⁾

- 1) 非会員 元千葉大学大学院 大学院生
e-mail: t.suto.1222@gmail.com
- 2) 正会員 千葉大学, 名誉教授 工学博士
e-mail: fumio.yamazaki@faculty.chiba-u.jp
- 3) 正会員 東京工業大学環境・社会理工学院, 教授 博士 (工学)
e-mail: matsuoaka.m.ab@m.titech.ac.jp
- 4) 正会員 富山大学都市デザイン学部, 准教授 博士 (情報学)
e-mail: inoguchi@sus.u-toyama.ac.jp
- 5) 正会員 MS&ADインターリスク総研(株), フェロー 博士 (工学)
e-mail: kei.horie@ms-ad-hd.com
- 6) 正会員 千葉大学大学院工学研究院, 助教 博士 (工学)
e-mail: wen.liu@chiba-u.jp

要 約

本研究では, 2016年熊本地震における熊本県益城町の家屋被害認定調査結果に基づいて建物被害分析を行うとともに, 推定地震動分布と組み合わせて建物被害関数を構築した. 建物被害分析では構造別, 建築年代別, 木造建物の屋根形式別・階数別に被害を分析した. その結果, 木造建物の全壊率は, RC造, S造, LS造と比較して全体的に大きく, 建築年代が古くなるほど大きくなる傾向が顕著にみられた. また, 最大地表速度および計測震度に対する, 構造別, 木造の建築年代別の益城町の建物被害関数を構築した. 益城町の被害関数は, 1995年兵庫県南部地震の結果に基づく経験式と比べて, 同一の最大地表速度における全壊率が低くなる傾向がみられた.

キーワード: 2016年熊本地震, 建物被害, 最大地表速度, 計測震度, 被害関数

1. はじめに

近年, 首都直下地震や南海トラフ巨大地震など, これから起こりうる大地震に対して適切かつ効率的な対策を立案するために, 国や自治体によって多くの被害想定が行われている. そこでは過去の地震における建物被害の経験に基づき構築された建物被害関数¹⁾³⁾を用いることにより, 想定地震に対する建物被害の推定も行われている⁴⁾⁵⁾. これまで我が国では様々な地震被害の経験に基づく建物被害関数に関する研究が報告されてきた. 現在の地震被害想定調査の多くは, 1995年兵庫県南部地震の被害

分析結果に基づいて構築された建物被害関数が用いられている。例えば、東京都の地震に対する地域危険度評価^{6),7)}に用いられている建物被害関数は、村尾・山崎¹⁾が兵庫県南部地震における神戸市灘区による被災度認定調査結果と推定地震動分布を用いて構築したものである。また、内閣府が実施した想定南海トラフ巨大地震⁸⁾や想定首都直下地震⁹⁾に対する建物被害想定は、山口・山崎²⁾が兵庫県南部地震における西宮市の建物被害データに基づいて構築した建物被害関数に補正を施したものを使用している。その他、木造建物の層破壊に関しては堀江ら¹⁰⁾の関数が、また非木造建物に関しては階数も考慮した Miyakoshi et al.¹¹⁾の研究に基づく関数などが用いられることも多い^{12),13)}。さらに、建物の損傷度と耐震診断値に基づくものや¹⁴⁾、構造種別ごとに代表的な地震動周期帯での平均速度応答を指標とするもの¹⁵⁾などが提案されている。

建物被害関数の構築には建物被害データとその地域の地震動分布が必要であり、自治体による被害認定調査結果はその元データともなっている。兵庫県南部地震のように被害データの豊富な地震は他に存在しなかったため、この地震による経験的被害予測モデルが多用されてきたが、20年以上前に発生した地震の被害データに基づいて、将来発生する恐れのある地震の被害想定を行うことが適切かどうかについては議論がある。したがって、最近の地震データに基づく建物被害関数の再構築は、重要な課題といえよう。

2016年4月14日21時26分に、熊本県熊本地方の深さ約10km地点において、マグニチュード(M_J)6.5の地震が発生した。この地震を引き起こしたのは、震源付近を走る日奈久断層と考えられ、益城町役場に設置された地震計で震度7を記録した。この地震により益城町を中心に木造住宅が倒壊し、複数の死者も報告された。さらにこの約28時間後の4月16日1時25分に、M_J7.3の地震が隣接する布田川断層帯を震源として発生した。益城町では再び震度7を記録し、さらに多数の建物が倒壊、また布田川断層帯に沿って、明瞭な地表地震断層が出現するなど大きな地震災害となった。この後も布田川断層帯に沿って多数の余震が続く、一連の地震が平成28年(2016年)熊本地震と命名された(4月14日は前震、16日は本震)¹⁶⁾⁻¹⁹⁾。このような状況により、益城町は被災者に向けた罹災証明の交付のため被害認定調査を町内の全建物に対して実施するなど、益城町を対象として、様々な機関により建物被害調査が実施され、その分析結果が報告されている²⁰⁾⁻²⁴⁾。

本研究では、熊本地震の本震を対象に強震観測記録を多数収集し、QuiQuake²⁵⁾が採用している計算手法を踏襲することで高精度に推定した250mメッシュ単位の地震動分布²⁶⁾と1万棟を超える益城町の罹災証明データに基づく詳細な建物被害データ²⁷⁾を用いることにより、構造別および木造建物の建築年代別の被害関数の構築を試みる。都市を構成する建物の耐震レベルが年月とともに変化する中で、最近の家屋データに基づく建物被害関数を提示し、既往の被害関数との差異について議論することにより、経験的な建物被害関数に基づく地震被害想定を発展を本研究の目的としている。

2. 益城町における建物被害分析

2.1 益城町における建物被害認定調査および使用データ

災害により建物に被害が生じた場合、自治体により被害認定調査^{27),28)}が実施され、その認定結果に基づき、罹災証明書が発行される。罹災証明は、固定資産税の減免や仮設住宅入居など、さまざまな被災者支援を受けるための第一歩となるものである。一般的に被害認定調査は、被災者の申請を受け実施されるが、益城町においては被災者の申請を受ける前に、益城町内の全建物に対して認定調査が実施された²⁹⁾。第1次調査として外観目視調査により住家の被害程度を判定し、第1次調査を実施した住家の被災者から申請があった場合は、第2次調査として外観目視調査及び内部立入調査を実施し再度被害程度が判定された。この調査によって、建物の被災区分は全壊、大規模半壊、半壊、一部損壊、無被害に分類され²⁷⁾、その認定結果に基づき罹災証明書が発行された。益城町によって行われた2016年熊本地震後の被害認定調査結果を震源位置情報とともに図1に示す。自治体の罹災証明における被災区分に関しては、2010年より大規模半壊が加わって³⁰⁾、無被害を含めた5区分になっている。

建物の被災区分に関しては、自治体の罹災証明における区分のほか、主要構造体の被害に着目する手法³¹⁾や外観目視による調査法^{32),33)}、さらには航空写真判読³⁴⁾など複数あり、それぞれ区分の仕方や結果に大きな差があることが知られている^{33),35)-37)}。この理由は、自治体の調査は建物内部の経済的損

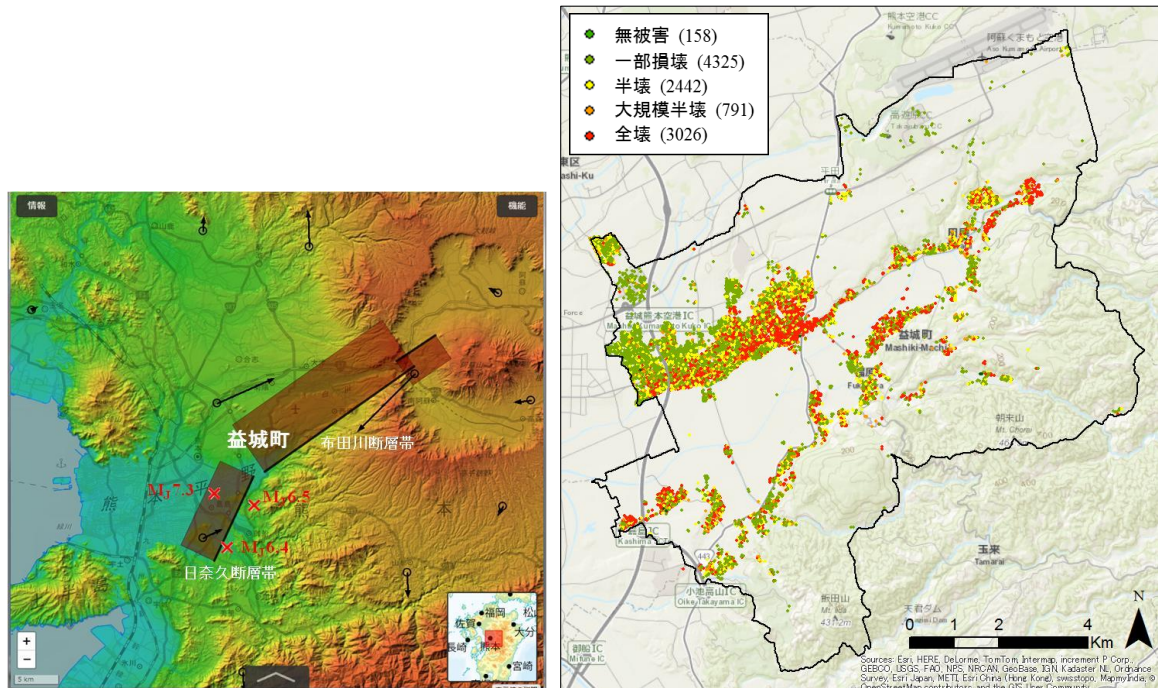


図1 熊本地震の震源と震源断層モデル（左：地理院地図³⁸⁾より作成）と益城町の被害認定調査における建物被害分布（右：建物数は検証報告書²⁹⁾の棟数ベースのもの）

失も評価するなど、調査の視点が異なることが最も大きいといえよう。しかしここでは、行政による罹災証明発行や地震被害想定調査に使用される自治体による被害区分²⁷⁾を用いる。これは、自治体による被害区分は、その結果が住民の生活再建に直接関連するとともに、国や自治体の防災施策の立案に使用されるためである。益城町では、罹災証明書の発行段階において、被災者の合意のもとで、家屋情報と家屋被害認定結果を関連付け、データの一元管理が進められた³⁹⁾。

本研究では、上記の経緯でまとめられた益城町における罹災証明発行記録、建物被害認定調査結果および家屋台帳情報からなるデータを「元データ」として使用した。元データは13,718棟分の情報からなり、個別建物の構造、建築年、屋根形式等の情報が含まれている。なお、データの中には木造建物の構工法、対象建物の耐震補強、隣家の倒壊等による影響に関する情報は含まれていない。また、これらのデータの中には、物置や倉庫等のデータや被害情報や建築年が不明なものも含まれている。そのため、元データのうち、物置・倉庫・車庫等のデータ（2,945棟）、同一物件において複数の罹災証明発行記録がある場合、最終的な記録以外のデータ（461棟）、建築面積20m²未満のデータ（142棟）、地上階のないデータ（11棟）を削除した。本研究では、このような処置で残った10,159棟のデータを使用する。なお増築履歴のある建物に関しては、「増築による増加面積分が元の建築面積以上の場合、増築年をその建物の代表建築年とする、また、増築による増加面積分が元の建築面積未満の場合、増築前の建築年をその建物の代表建築年とする」という基準に従い、建築年を決定している。

表1に構造および建築年代別の被害区分別の建物棟数を示す。益城町では木造建物が全体の約88%を占めており、次いで軽量鉄骨造（以下、LS造）が約7%、鉄骨造（以下、S造）が約3%、鉄筋コンクリート造（以下、RC造）が約1%、コンクリートブロック造（以下、CB造）が約0.07%となっている。図2に益城町と東京都の建物データの構造別割合を示すが、益城町の木造割合は、東京都⁶⁾（2015年1月の固定資産台帳の集計では、木造割合は70.5%）などの大都市域と比べると高く、益城町が従来からの農林業中心の地域と熊本市に隣接する住宅地域の2つの特徴を持つ自治体であることと符合している。

図3に木造建物について建築年代別の割合を益城町と東京都で比較して示す。これを見ると、益城町では、1981年以前に建てられた旧耐震基準のものが約38%を占めているのに対して、2015年時点における東京都における木造建物の旧耐震率は約41%であるので⁶⁾、益城町の木造建物が古いものが多いとは

表1 益城町の構造および建築年代別の被害区分別の建物棟数

構造	建築年代	全壊	大規模半壊	半壊	一部損壊	無被害	計
木造	-1951	464	74	92	75	0	705
	1952-61	151	26	34	16	0	227
	1962-71	317	60	111	65	1	554
	1972-81	856	217	511	279	1	1,864
	1982-90	428	187	551	414	0	1,580
	1991-2000	319	140	568	902	2	1,931
	2001-16	127	47	256	1,159	2	1,591
	建築年不明	178	50	121	170	1	520
計	2,840	801	2,244	3,080	7	8,972	
RC造	-1981	5	1	4	8	0	18
	1982-90	3	0	1	9	0	13
	1991-2000	0	0	3	29	0	32
	2001-16	1	0	5	40	0	46
	建築年不明	0	1	0	3	0	4
	計	9	2	13	89	0	113
S造	-1981	14	2	13	38	0	67
	1982-90	9	5	14	46	0	74
	1991-2000	14	8	17	61	0	100
	2001-16	0	3	6	48	0	57
	建築年不明	6	2	5	21	0	34
	計	43	20	55	214	0	332
LS造	-1981	23	5	43	73	0	144
	1982-90	17	3	26	102	0	148
	1991-2000	22	7	36	159	0	224
	2001-16	14	3	11	163	1	192
	建築年不明	6	1	7	14	0	28
	計	82	19	123	511	1	736
CB造	計	1	0	3	2	0	6
全建物	計	2,975	842	2,438	3,896	8	10,159

いえない。また、新耐震率は益城町では約58%、東京都では約60%とほとんど変わらないが、2000年の建築基準法改正後に建てられ現行の耐震基準を満たした木造建物の割合は、東京都の方が高くなっている。

2.2 益城町における建物被害分析

益城町の建物について、構造、建築年代、木造建物の屋根形式および建物階数別に被害を分析した。益城町の建物構造別の被害率を図4(a)に示す。全壊率は木造が最も高く、次いでCB造、S造、LS造、RC造の順に低くなっている。比較のために、1995年兵庫県南部地震における神戸市灘区の自治体による罹災証明ベースの構造別の建物被害率³⁾を図4(b)に示す。この時代はまだ大規模半壊の区分がないが(半壊に含まれている)、構造区分間の相対的な全壊率の傾向はよく近似している。ただ、絶対的な全壊率の値は灘区の方が高く、この原因の1つとして当時、建物被害の認定方法が自治体間でも統一されていなかったことが挙げられる³⁾。また当然ながら、灘区と益城町で地震動強さには差異があるであろうし、何よりも21年間の差による平均的な耐震性の違いが影響していると考えられる。

益城町の木造建物の建築年代別の被害率を図5 (a) に示す。今回は2007年新潟県中越沖地震の新潟県柏崎市の例⁴¹⁾を参考に、新耐震と呼ばれる1982年（正確には1981年6月）以降においても3つの年代区分を設定した。1951年以前を除いて建築年代の新しいほど全壊率が小さくなっている。とくに1981年を境に全壊率の減少割合が大きくなっており、耐震基準改正による影響とも考えられる。また、2000

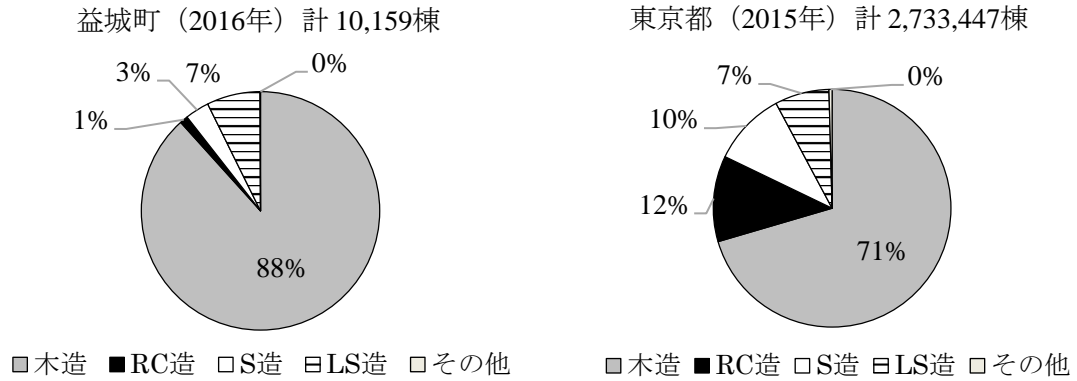


図2 益城町(2016年)と東京都(2015年)の建物構造別割合

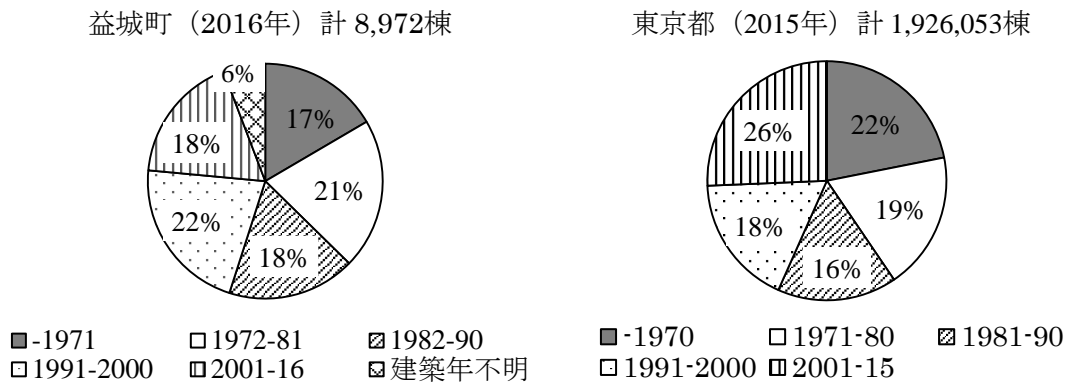


図3 益城町(2016年)と東京都(2015年)の木造建物の建築年代別割合

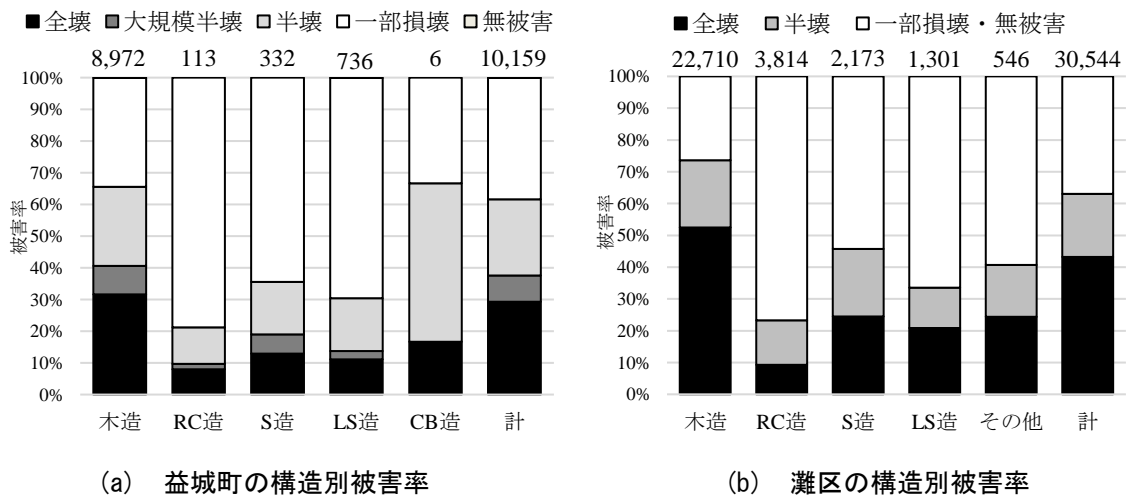


図4 熊本地震による益城町と兵庫県南部地震による灘区の構造別被害率の比較

年における木造の建築基準法改正による全壊率の低下傾向もみてとれる。1951年以前の建物の被害率が小さくなっている点に関して、3章で説明する通り、これらの建物の多くは相対的に地震動が小さかった山地に位置しているためと考えられる。

図5(b)に示すように1年ごとに区分した木造建物の被害率の変化も調べた。ほぼ連続的に建築年が古くなるほど、全壊率は大きくなっている。新耐震以降の建物においても、新しい建築年になるにしたがい全壊率が低下する傾向が顕著にみられる。同様の傾向は、兵庫県南部地震における西宮市⁴²⁾や、被害率はずっと低い、新潟県中越沖地震の柏崎市の建物被害データにおいてもみられており、経年劣化の影響および2000年における木造建物の建築基準強化の影響によると考えられる。なおこの2つの影響を数値解析によって分離しようと試みた研究も報告されている⁴³⁾。

RC造、S造、LS造の建築年代別の被害率を図6に示す。非木造に関しては、RC造の2001年から2016年およびS造の1991年から2000年を除いて、建築年代の新しいものほど全壊率が小さくなっている。なおここでは、建築年が不明となっているデータは除いている。非木造のどの構造についても、年代別の被害率を論ずるには十分な棟数とはいえない。したがって益城町の非木造の被害分析に関してはここまでの検討で留めることにする。

木造建物の屋根形式別および建築年代別の被害率を図7(a)に示す。いずれの年代区分においても、全

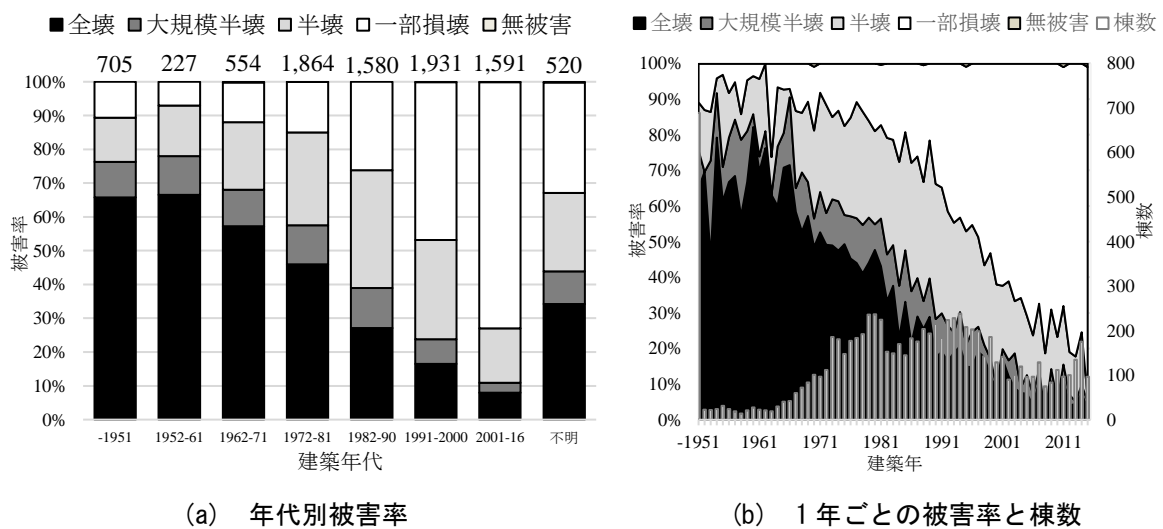


図5 熊本地震による益城町の木造建物の建築年代別被害率と1年ごとの被害率と棟数

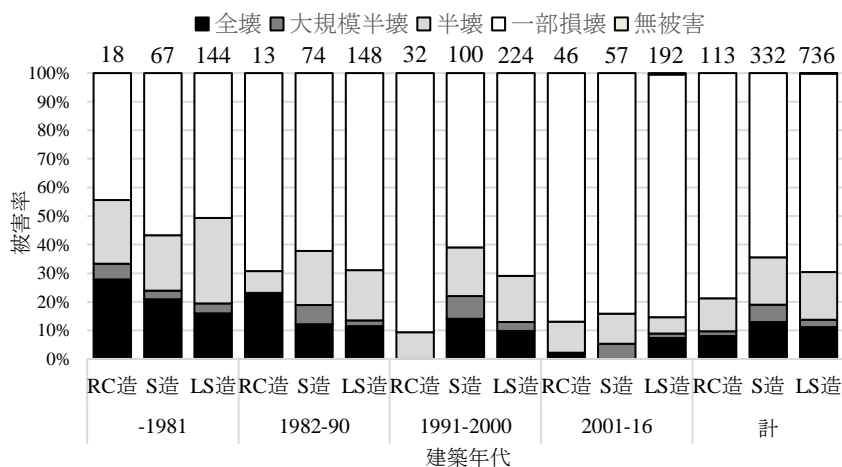


図6 熊本地震によるRC造、S造、LS造建物の建築年代別被害率

壊率は瓦屋根の建物が最も大きくなっている。2001年以降、金属屋根とスレート屋根の建物の全壊率はほとんど変わらない。なお建築年および屋根形式がその他および不明となっているデータは除いている。瓦屋根のような重い屋根の建物は、地震力が大きく作用し被害を受けやすくなるため、建築基準法により軽い屋根よりも必要壁量を多く要求しているが、全壊率が高くなる傾向は兵庫県南部地震における西宮市や神戸灘区における被災度調査結果でもみられていた。したがって、屋根区分も建物被害関数のパラメータとして取り入れるのが望ましいが、自治体の有する家屋台帳にその記載がない場合もあるので、現時点では難しいと考えられる。

また、木造建物の建物階数別および建築年代別の被害率を図7(b)に示す。1981年以前では平屋の全壊率は2階建ての値を下回るが、1982年以降では2階建ての全壊率を上回る結果となった。全体の平均全壊率は、新築年の割合の高い2階建てが平屋を下回る結果となった。なお建築年が不明となっているデータは除いている。

2.3 他の地震との木造建物の全壊率比較

2016年熊本地震における益城町の木造建物の全壊率を1995年兵庫県南部地震における神戸市灘区¹⁾、西宮市⁴²⁾、2007年新潟県中越沖地震における柏崎市⁴¹⁾の結果と比較したものを図8に示す。いずれの建築年代においても、益城町と灘区の木造全壊率は近似しており、西宮市はそれよりもやや低い。これは西宮市の全壊率は北部に地震動の小さい地域も含まれていることから、同じ地震における灘区よりも全壊率が小さくなっていると考えられる。熊本地震の地震断層のごく近傍の益城町において、前震

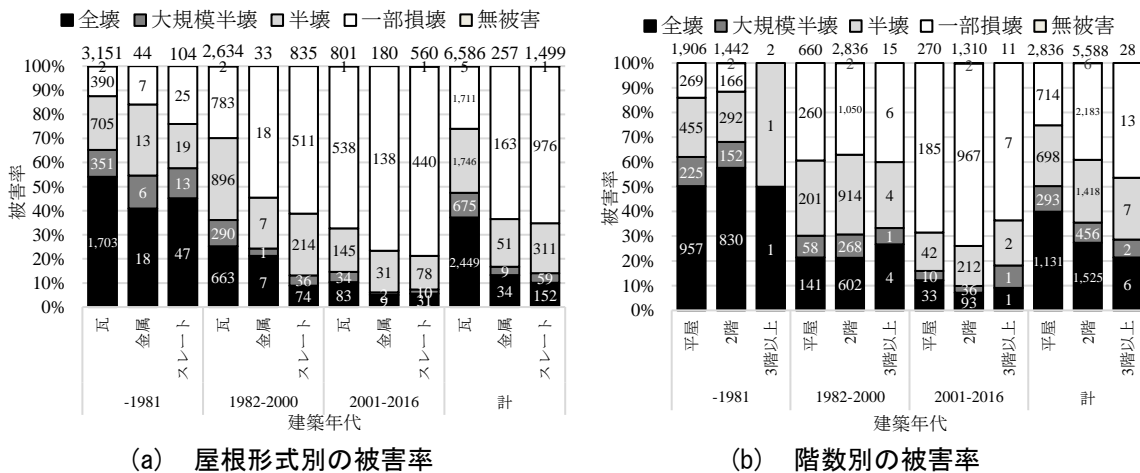


図7 屋根形式別および建物階数別の木造建物被害率

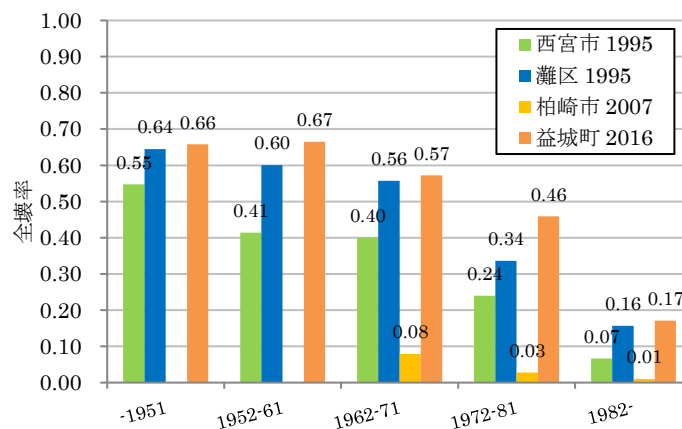


図8 近年の3地震における木造建物の全壊率比較

および本震の2回の震度7の地震動を受けたこと、また21年分の経年劣化の影響があるにも関わらず、同建築年代の木造建物全壊率が近似したものとなっていることは興味深い。全壊率が近似する理由として、兵庫県南部地震の時点では、各自治体の建物被害調査法は統一されておらず⁴⁰⁾、全壊の判定が甘かったという見方も指摘されている³⁷⁾。また、大きな地震動を2回受けたことにより全壊した益城町の建物の割合は、それほどは多くなかったという見方もある⁴⁴⁾。柏崎市に関しては、地震動強さは他の地震に匹敵するレベルであったにも関わらず、全壊率は非常に小さい。この事実に関しては、兵庫県南部地震前後に発生した地震の多く（1993年釧路沖地震、2000年鳥取県西部地震、2004年新潟県中越地震、2007年新潟県中越沖地震、2008年岩手・宮城内陸地震など）でも同様のことが指摘されている³⁾。1つの要因としては、木造建物の地域差が挙げられる。これらの地震の多くは、北海道、東北、北陸、山陰などの寒冷地であり、地盤凍上や雪荷重に対応するため、木造建物は壁量が多く、構造的に強いことが考えられる。また、とくに北海道や東北では、瓦屋根が少なく軽い屋根が多いことも、原因として挙げられる。一方、相対的に木造全壊率の高くなった阪神地域や熊本地方では、台風に備えた重い屋根の割合が高いことも原因として考えられる。

3. 益城町における推定地震動分布

地震による建物被害を評価するためには、被災地域での地震動強さの面的分布を推定することが必要である。

熊本地震の本震（2016年4月16日）を対象に強震観測記録を多数収集し、産業技術総合研究所のQuiQuake²⁵⁾が採用している計算手法を踏襲することで、被災地域における地震動分布を高精度に推定する²⁶⁾。地震動分布としては、入力地震動資料として入手し易く、建物被害の指標として最も一般的に使用される最大地表速度(PGV)と計測震度を用いる。使用した観測記録は、熊本県を含む九州・西日本一帯のもので、K-NET、KiK-netが698地点、気象庁が316地点、自治体によるものが111地点、西部ガスが16地点である。平均トレンドとして国土地理院モデルの震源断層からの距離減衰式を考慮し、PGV増幅度の非線形性を考慮したクリッキング補間により、観測地点間のPGVを推定した。なおここでは、水平2方向の速度波形を時刻歴で合成した最大値をPGVとして使用している。また、本研究では国土地理院の断層モデルを用いるが、他の断層モデル⁴⁵⁾であっても地震動分布にほとんど差がないことを確認している。なお、被害データには前震の影響も含まれているが、その分離は難しい。また前述のように、筆者らの数値解析⁴⁴⁾では大半の建物は本震の揺れのみでも全壊していたため、ここでは本震の地震動分布を使用する。

250mメッシュ単位の益城町におけるPGV分布および計測震度分布を図9(a),(b)に示す。布田川断層帯に沿うようにPGVが200cm/sを超える範囲が広く分布しており、多くの住宅に被害が生じた益城町中心部を中心に高いPGVが分布している。益城町の観測点は、KiK-net益城と益城町役場の2か所であり、推定したPGV分布は観測点ではその値を再現し、その周辺ではPGV増幅度と距離減衰に応じた分布性状を示す。計測震度では、6.5以上（震度7相当）の範囲が広く分布しており、それを包含するように震度6強の範囲が分布している。

益城町におけるPGV増幅率の分布を図9(c)に示す⁴⁶⁾。益城町中心部の南側には地盤条件上における後背湿地が分布しており最大で約2.2倍の増幅率を示している。KiK-net益城と益城町役場においては地形分類が同じであるため、PGV増幅度に大差がなく、そのため周辺の推定PGVの値にも大差がない。

PGVを30cm/sごとにランク分けし、木造建物の被害率を調べたものを図9(d)に示す。全体的にPGVが大きくなるにつれて、全壊率が増加しているのがわかる。木造建物の全体のうち約9割がPGVが90cm/sを超える大きな揺れに見舞われていたことがわかる。また木造建物の最も小さなPGVランク（36cm/s - 60cm/s）に位置する建物は34棟と少なく、これらの建物は地盤区分上における山地に位置している。同じくPGVを30cm/sごとに区分し、木造建物の建築年代ごとの棟数率も調べたが、1951年以前の建物の割合は最小のPGVランクで26%となっており、他のPGVランクにおける割合に比べて約2~5倍程度高く、2章で説明した1951年以前の木造建物の全壊率が1962-71年のものより低下する結果に影響しているとも考えられる。

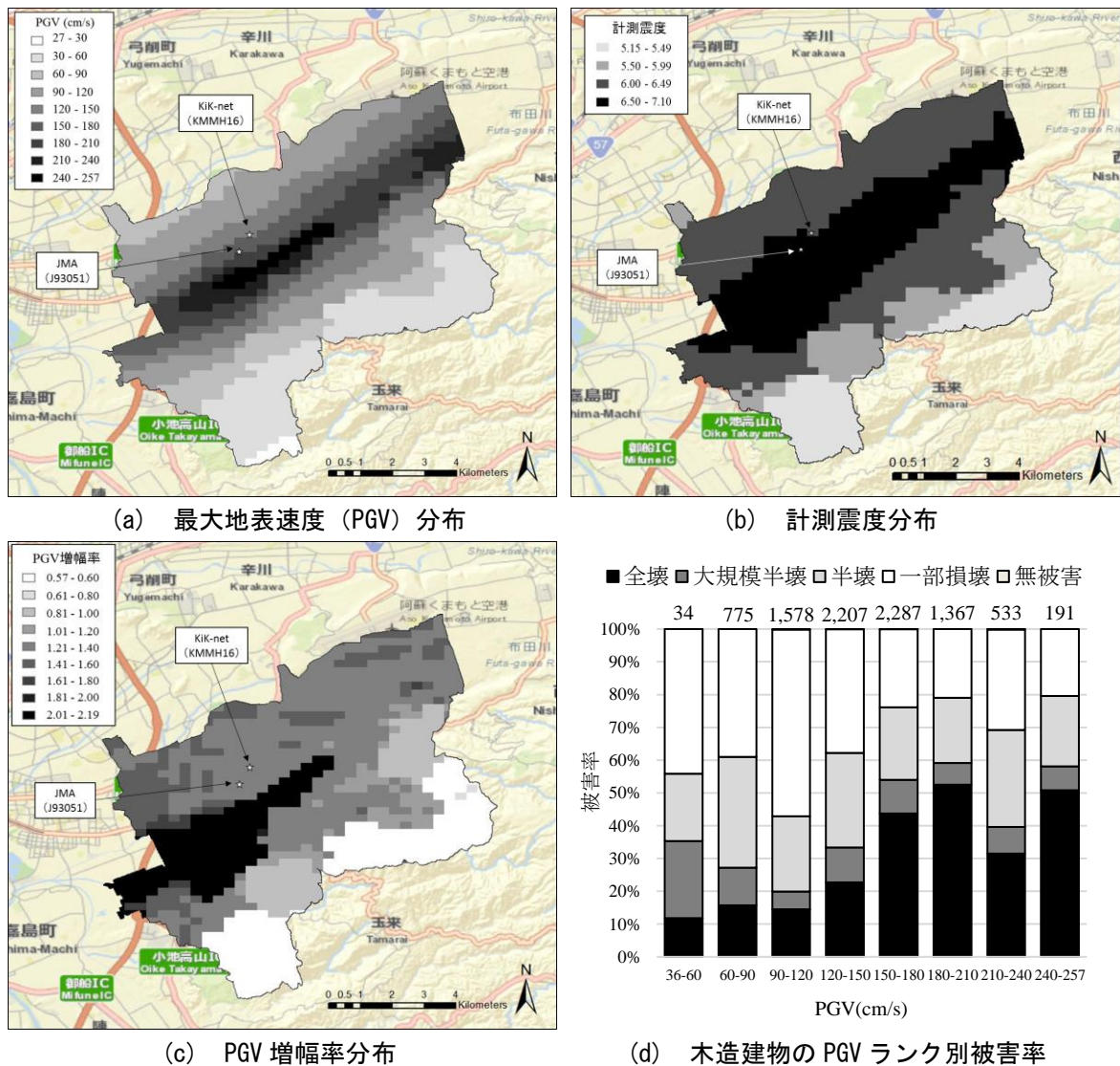


図9 益城町における熊本地震本震の推定地震動分布

4. 自治体の建物被害調査に基づく益城町の建物被害関数

4.1 建物被害関数構築の方法と回帰分析結果

益城町が実施した被害認定調査結果に基づく罹災証明データと高精度に推定された地震動分布を用いて、建物の構造および建築年代を考慮した最大地表速度 (PGV) および計測震度に対する建物被害関数 (被害率曲線) を構築する。個々の建物データが持つ位置座標を用いて地理情報システム (GIS) で表示し、建物1棟ごとに、その位置 (250mメッシュ) の地震動強さ (PGVおよび計測震度) をリンクした。そのあと、対象とする構造・建築年代区分ごとに地震動の大きさで並び替えたうえで、地震動のレベルが同程度のいくつかの建物をつなぐグループとして区分した。

構造種別ごとの建物被害関数は棟数が充分ある木造、S造、LS造の3つに対して行った。本データにおけるRC造は100棟余りと少なく、全体としても建物被害関数の構築は困難であった。また建築年代別の被害関数は棟数が充分にある木造についてのみ行った。木造の1952-61年の区分はデータ数が乏しく被害関数の構築は困難であったため、区分は2章の被害分析の際の区分から1961年以前を除いた5区分とした。各構造・建築年代ごとの棟数と区分数を表2に示す。データ数の多い木造に関しては、全体で

表2 構造・年代ごと被害データの区分数と区分棟数

構造種別	建築年代	建物棟数	区分数	区分棟数
木造	全体	8972	20	448 or 449
	1962-71	554	10	55 or 56
	1972-81	1864	10	186 or 187
	1982-90	1580	10	158
	1991-2000	1931	10	193 or 194
	2001-16	1591	10	159 or 160
S造	全体	332	5	66 or 67
LS造	全体	736	5	147 or 148

の区分数を20区分、建築年代別では10区分とし、比較的データ数の少ないS造、LS造に関しては5区分とした。また区分ごとの代表地震動値を棟数による重みつき平均により求めた。

ここで求めた地震動強度と被害率の関係から、建物被害関数を求める。ある地震動強度の値 x のときに被害区分 R 以上の被害が発生する確率 $P_R(x)$ は、標準正規分布の累積確率分布関数 $\Phi(x)$ を用いて、既往の研究と同じく^{1),2)}、 $x=\ln PGV$ として、以下の対数正規分布で表せると仮定した。すなわち、

$$P_R(\ln PGV)=\Phi((\ln PGV-\lambda_{PGV})/\zeta_{PGV}) \quad (1)$$

となる。また計測震度 I のときに被害区分 R 以上の被害が発生する確率 $P_R(I)$ は、正規分布で表せると仮定した。すなわち、

$$P_R(I)=\Phi((I-\lambda_I)/\zeta_I) \quad (2)$$

となる。ここで係数 λ 、 ζ は、 $\ln PGV$ または I の平均値および標準偏差であり、確率紙を用いた最小二乗法により求める。

表3、表4は結果として得られた被害関数の回帰係数を、全壊率、大規模半壊以上率、半壊以上率について示したものである。PGVに関して、相関係数(r)を構造別(全年代)に見ると、木造の半壊以上率が0.67であるが、基本的に高い相関を示している。木造の年代別では全壊率で最も低いのが2001-16の0.63であり、全体的に高い相関が見られるが、半壊以上率は0.7以下のものも多くある。計測震度に関しても、構造別(全年代)に見ると、木造の半壊以上率が0.69、S造の大規模半壊以上率が0.62であるが、その他は高い相関を示している。また木造の年代別では、PGVの結果と同様に半壊以上率で0.7以下のものも多くある。そこで本研究では、表3および表4の網掛部以外の範囲から構築される被害関数を建物被害の状況を高精度で再現できたものとして提案する。

表3 益城町の建物被害関数の回帰係数 (PGV)

構造種別	建築年代	PGV(cm/s)								
		全壊率			大規模半壊以上率			半壊以上率		
		λ_{PGV}	ζ_{PGV}	r	λ_{PGV}	ζ_{PGV}	r	λ_{PGV}	ζ_{PGV}	r
木造	全年代	5.38	0.79	0.81	5.21	0.93	0.75	4.47	1.15	0.67
	1962-71	4.84	0.71	0.87	4.60	0.71	0.81	3.80	0.94	0.78
	1972-81	5.11	0.76	0.76	4.83	0.94	0.69	3.50	1.40	0.65
	1982-90	5.41	0.64	0.88	5.23	0.83	0.83	4.11	1.27	0.63
	1991-2000	5.70	0.70	0.86	5.63	0.87	0.72	4.83	1.26	0.66
	2001-16	6.62	0.89	0.63	5.97	0.76	0.70	5.52	0.93	0.84
S造	全年代	5.96	0.87	0.80	5.72	0.96	0.82	5.26	0.96	0.76
LS造	全年代	5.90	0.76	0.96	5.84	0.81	0.95	5.35	0.88	0.90

表 4 益城町の建物被害関数の回帰係数（計測震度）

構造種別	建築年代	計測震度								
		全壊率			大規模半壊以上率			半壊以上率		
		λ_I	ζ_I	r	λ_I	ζ_I	r	λ_I	ζ_I	r
木造	全年代	6.87	0.73	0.82	6.72	0.85	0.75	6.06	1.05	0.69
	1962-71	6.38	0.55	0.75	6.16	0.60	0.79	5.37	0.85	0.61
	1972-81	6.61	0.68	0.74	6.36	0.81	0.68	5.31	1.12	0.62
	1982-90	6.88	0.56	0.90	6.71	0.70	0.87	5.83	0.96	0.60
	1991-2000	7.09	0.57	0.87	7.03	0.70	0.73	6.38	1.08	0.65
	2001-16	7.63	0.77	0.75	7.42	0.72	0.81	6.97	0.80	0.88
S造	全年代	7.25	0.63	0.71	7.14	0.68	0.62	6.69	0.63	0.78
LS造	全年代	7.24	0.60	0.95	7.18	0.63	0.95	6.80	0.69	0.92

4.2 益城町の構造別の建物被害関数

図10(a)から図10(f)はPGVおよび計測震度に関する木造、S造、LS造の各構造に対する建物被害関数を、全壊率、大規模半壊以上率、半壊以上率にわけて示したものである。それぞれの図中には建物被害関数の構築に用いた原データ（木造：20点、S造：5点、LS造：5点）を示した。

PGVに対する構造別の建物被害関数に関しては、全壊率、大規模半壊以上率、半壊以上率それぞれで、木造の被害率は地震動の範囲によらず他の構造よりも大きくなっている。また、S造とLS造は接近した曲線を描いている。S造とLS造の結果の類似性に関しては、同じ鉄骨系の建物であることに加えて、それぞれの建物データに占める新耐震の割合が近いこと（S造：78%、LS造：80%）による影響が大きいと考えられる。木造の半壊以上率に関しては、益城町で最も低いランクのPGV（約65cm/s）においても、60%を超える半壊以上率になっているため立ち上がりが高く、低いPGVの範囲の結果に修正の余地がある。しかしこの立ち上りを抑えるためには、低いPGVの範囲における同質の建物データと被害データが必要であり、熊本県の周辺自治体のデータを加えるなど、今後の課題といえよう。

また、計測震度に対する建物被害関数に関しては、PGVに関するものと同様に、木造の被害率が最も高く、S造とLS造の被害率は近似する結果となった。なお計測震度そのものは、PGVや最大加速度(PGA)の対数に比例する地震動強度指標であるため^{47)、48)}、PGVの建物被害関数の横軸を対数にすると計測震度のものに近似した関数形となる。

益城町における構造別の建物被害関数を1995年兵庫南部地震における西宮市の建物被災度認定調査結果を用いて山口・山崎²⁾により構築された関数、また同地震において神戸市が行った建物被災度調査結果を用いて、村尾・山崎¹⁾により構築された灘区についての関数と比較する。図11(a)から図11(c)にPGVに関する構造別の全壊率に対する被害関数の比較を示す。また図11(d)に計測震度に関する各構造の全壊率に対する被害関数を西宮市のものと比較した結果を示す。

PGVに関する益城町の木造およびS造の建物被害関数は、西宮市および灘区のものより下回る傾向にあった。益城町と西宮市のLS造の建物被害関数は近接した曲線を描いている。計測震度に関しても木造は西宮市を下回る結果となった。

これらの差異を生み出す要因はいくつか考えられるが、それぞれの建物被害関数を作成する際に用いられた建物データの建築年代別棟数率の違いが挙げられる。各建物被害関数の構成に用いられた建物データの建築年代別の構成比を調べたところ、木造に関して、益城町の建物被害関数の構築に用いたデータ全体に占める新耐震の建物の割合は約60%と西宮市の17%および灘区の11%よりも著しく高く、全壊率の低減に影響を及ぼしていると考えられる。S造に関しても、益城町は78%であり、西宮市の51%、灘区の46%に比べて高いことが影響していると考えられる。また、西宮市と益城町のLS造の建物被害関数が近接した曲線を描いていることに関して、西宮市の元データ内の新耐震建物の割合が69%であるのに対し、益城町では80%と値が比較的近いためとも考えられる。なお、益城町の新耐震の建物の割合は建築年が不明なデータを除いた上での算出値である。また、木造に関して、次節で示す通り、

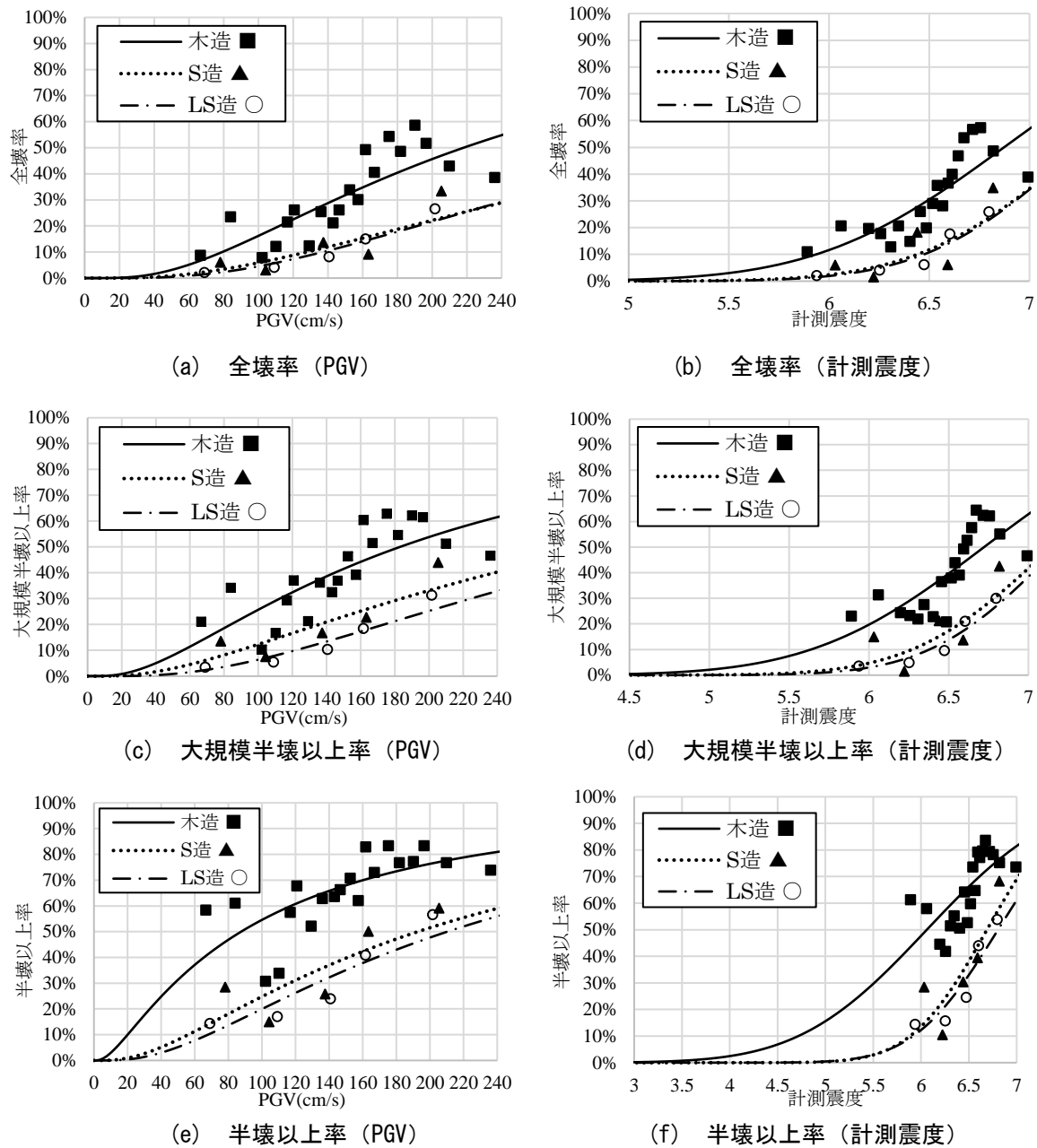


図 10 益城町の構造別の建物被害関数

同一の建築年代でも益城町の全壊率は西宮市および灘区よりも低減しているため、益城町の建物の方が構造的に強いことが考えられるが、耐震補強に関する情報など、理由を説明できる判断材料が無いため、今後データの充実をもって議論する必要がある。

各建物被害関数で用いられた地震動分布に関して、その推定方法の違いも要因として考えられる。兵庫県南部地震における建物被害関数は、強震観測記録とその観測点周辺における建物被害データの関係性から推定されている⁴⁹⁾。兵庫県南部地震の際の強震観測記録は限られていたため、本研究における推定地震動分布と比べると精度が低く、建物被害関数に違いをもたらしているとも考えられる。また、兵庫県南部地震の時点では、各自治体の建物被害調査方法は国の統一基準に基づいてはいるが、大災害を想定した調査方法は確立されていなかったことから自治体ごとに調査方法が異なっており、前述の通り全壊の判定が緩かったという見方も指摘されている³⁷⁾。

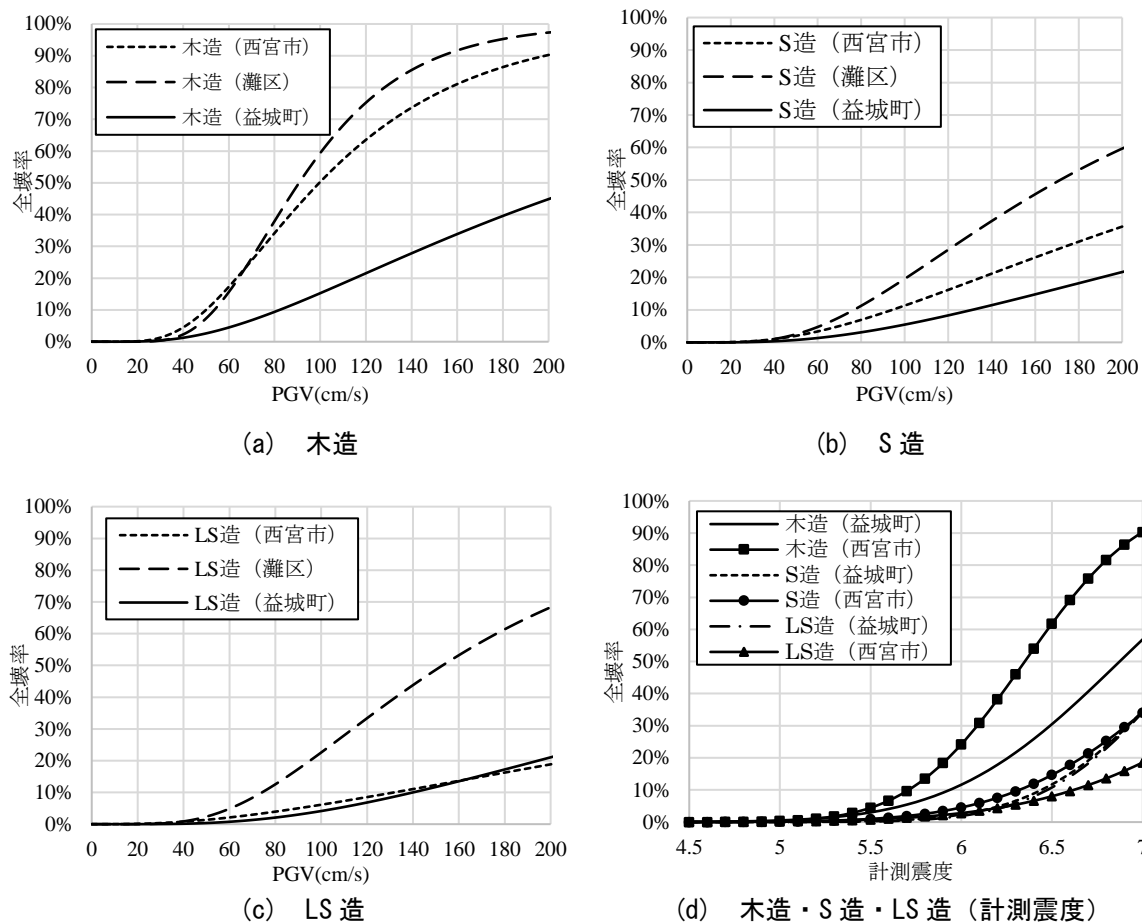


図 11 兵庫県南部地震における建物構造別の被害関数と本研究結果の比較

4.3 益城町の木造建物の建築年代別被害関数

益城町の木造建物について建築年代別の被害関数の構築を行った。図12(a)から図12(f)はPGVおよび計測震度に関する木造の建築年代別の被害関数を、全壊率、大規模半壊以上率、半壊以上率にわけて示したものである。それぞれの図中には建物被害関数の構築に用いた原データ（10点）を示した。

PGVに対する全壊率に関する建物被害関数に関して、全体的に同じPGVにおいて古いものほど全壊率が高く、新しいものほど低くなっている。古い建物の全壊率の上昇は、耐震基準の違いに加えて、経年に伴う劣化や腐朽も影響している可能性があると考えられる。また新耐震基準の建物に関しても、被害の出方に明瞭な差が見られ、とくに2001年以降の建物は極めて低い全壊率となっている。したがって木造建物に関しては、新耐震を2つないし3つの年代で区分することの妥当性が示された。なお、東京都都市整備局⁶⁾の地域危険度評価や内閣府^{8), 9)}の地震被害想定において、この3区分する提案⁴⁾はすでに採用されている。

半壊以上率に関しては、とくに1990年以前の結果はきわめて立ち上がりが早く、また1962-71年と1972-81年の曲線が交差しており、適切な評価が出来ていないと考えられる。立ち上りを抑えるためには、前述のように低いPGVの範囲のデータが必要であり、今後の課題といえよう。

計測震度に対する建物被害関数でも、地震動の範囲によらず古いものほど全壊率が高くなる傾向が見られる。また半壊以上率に関しては、PGVに対するものと同様に1962-71年と1972-81年の曲線で交差する結果となった。

図13(a)から図13(c)は、益城町における木造の建築年代別の被害関数を西宮市および灘区における結果と比較したものである。また図13(d)に計測震度に関する被害関数を西宮市のものと比較した結果を示す。PGVに対する被害関数に関して、全体的には構造別のもと同様に西宮市、灘区の方が高い全

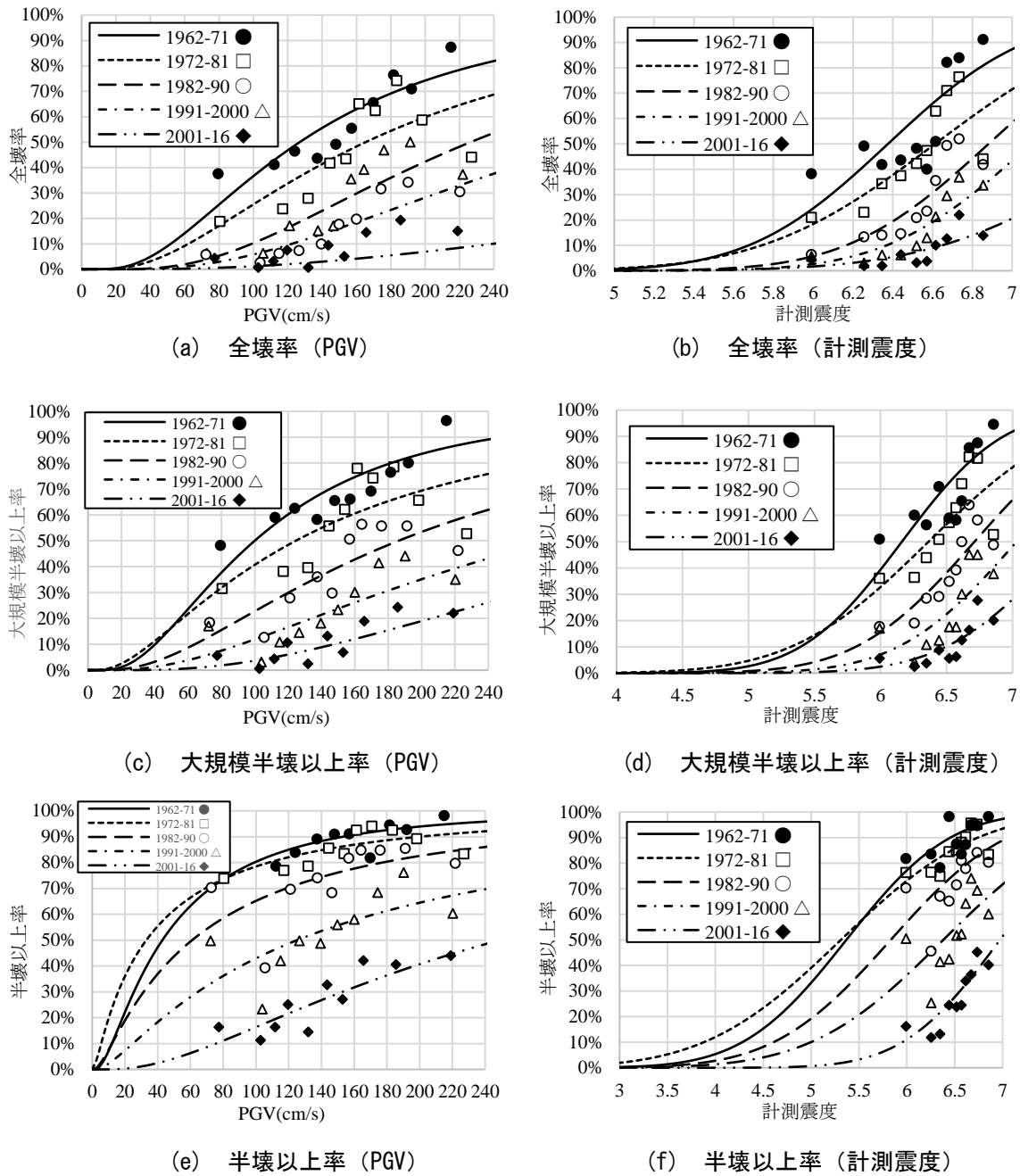


図 12 益城町の木造建物の建築年代別の被害関数

壊率を示す傾向にあるが、PGVの小さい範囲では本研究の関数の方が全壊率が大きくなる年代もある。灘区との比較に関して、図8に示す通り同一建築年代における全壊率は近似した結果を示しているが、益城町の方が最大で約1.4倍のPGVが作用していたため、被害関数上では益城町が灘区を下回る結果として表れていると考えられる。また、西宮市に関して、対象地域全体の平均全壊率は、地震動が小さいエリアを含むため益城町を下回るが、30cm/sごとに区分したPGVランク図と建築年代別の全壊率図を比較すると⁴²⁾、益城町に比べて相対的に低いPGVで高い全壊率を示しており、被害関数でも同様な傾向を示している。低い地震動範囲のデータが益城町では乏しいという課題も残ってはいるが、熊本地震の建物データは経験的被害関数を構築することのできる貴重なもので、本研究で提案した益城町の木造建築年代別の被害関数を筆者らとしては推奨したい。

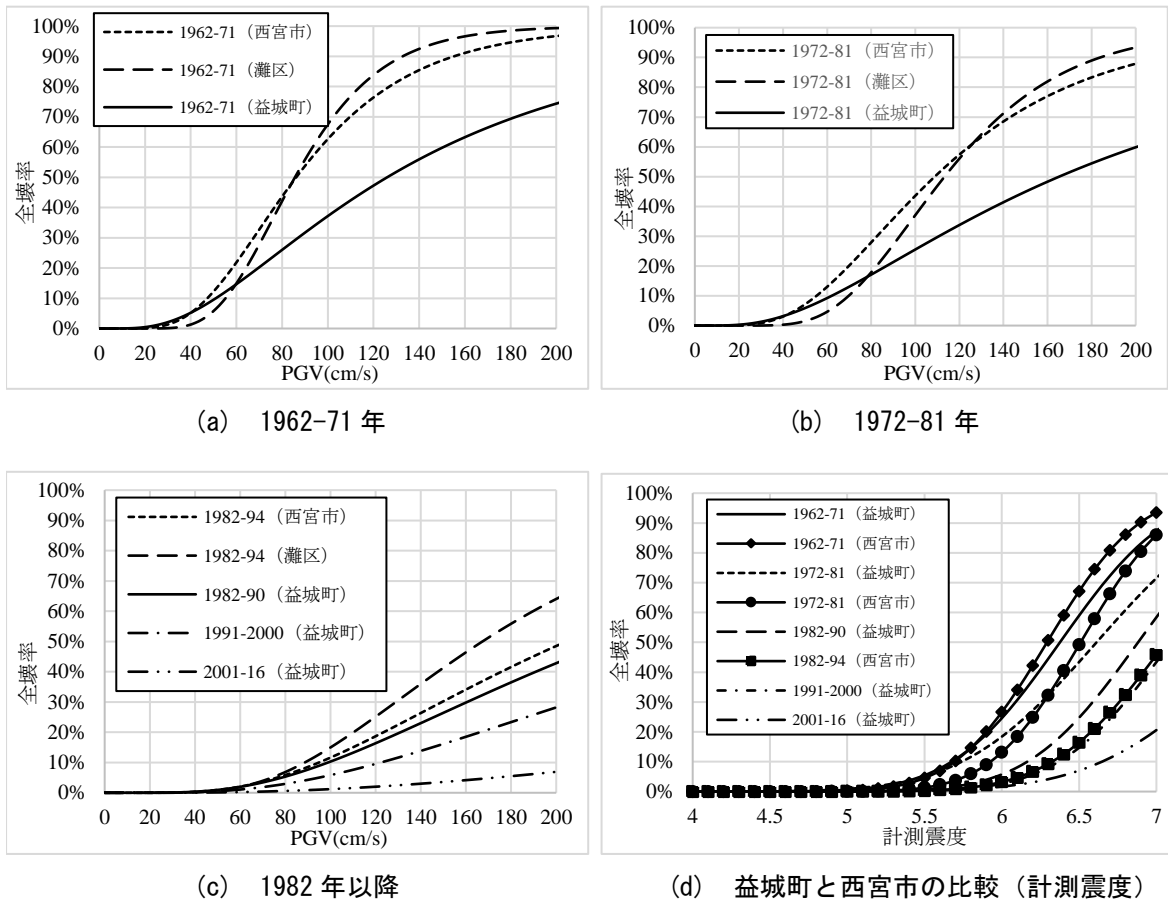


図 13 兵庫県南部地震における木造建物の建築年代別の被害関数との比較

5. まとめと今後の展望

2016年熊本地震における熊本県益城町の建物被害に関して、自治体による家屋被害認定調査結果データと家屋台帳データを用いて分析した。また益城町における推定地震動分布を用いて、構造別および木造の建築年代別の建物被害関数を構築した。

益城町の建物被害においては、建物の構造種別が被害率に大きく影響を及ぼしており、いずれの構造においても建築年代が古くなるほど全壊率は大きくなる傾向にあった。とくに木造に関しては、耐震基準の改正に応じた年代区分に対応し、全壊率が減少する様子が確認できた。また、木造の屋根形式による被害の傾向として、瓦屋根の建物は他の形式のものと比較して、高い全壊率を示した。金属屋根とスレート屋根では、全壊率はほとんど差が見られなかった。また、益城町における木造建物の建築年別の全壊率は、兵庫県南部地震における神戸市灘区に近似した全壊率を示した。

益城町について建物被害率データと推定地震動分布を用いて、最大地表速度 (PGV) および計測震度に関する経験的被害関数を構築した。構造別の建物被害関数に関して、木造の全壊率はPGVおよび計測震度の範囲によらず、鉄骨造、軽量鉄骨造に比べて高くなった。また、PGVに関する益城町における木造及びS造の建物被害関数は、兵庫県南部地震における西宮市および灘区のものを下回る傾向にあった。木造の建築年代別の建物被害関数に関して、全壊率はそれぞれのPGVおよび計測震度において古いものほど高く、新しいものほど低くなった。また兵庫県南部地震における結果と比べて、どの建築年代においても全体的に益城町の全壊率は西宮市、灘区を下回る結果を示した。

本研究では、地震被害想定への利用を念頭に、多くの自治体が所有している建築年代別の木造建物データについての全壊率、大規模半壊以上率、および半壊以上率の被害関数を構築した。非木造につ

いてはデータ数が乏しく、建築年代別の被害関数の構築には至らなかった。また、我が国の木造建物の耐震性における地域差については、今後の課題として残っている。

謝 辞

本研究で使用した建物データおよび被害認定調査データは、熊本県益城町より提供されたものです。また本研究は、国立研究開発法人 防災科学技術研究所による「首都圏を中心としたレジリエンス総合力向上プロジェクト」の一環として、新潟大学田村圭子教授を代表とする「首都圏を中心としたレジリエンス総合力向上に資するデータ利活用に向けた連携体制の構築」のうちの「被害拡大阻止のためのフラジリティ関数の検討」として実施したものです。関係各位に記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 村尾修, 山崎文雄: 自治体の被害調査結果に基づく兵庫県南部地震の建物被害関数, 日本建築学会構造系論文集, 第527号, pp. 189-196, 2000.
- 2) 山口直也, 山崎文雄: 西宮市の被災度調査結果に基づく建物被害関数の構築, 地域安全学会論文集, No. 2, pp. 129-138, 2000.
- 3) 翠川三郎, 伊東佑記, 三浦弘之: 兵庫県南部地震以降の被害地震データに基づく建物被害関数の検討, 日本地震工学会論文集, 第 11 巻, 第 4 号, pp. 34-47, 2011.
- 4) 損害保険料率算定機構: 自治体の地震被害想定における被害予測手法の調査, 地震保険研究8, 2006. https://www.giroj.or.jp/publication/earthquake_research/ (参照 2018-8-2)
- 5) 内閣府: 首都直下地震の被害想定項目及び手法の概要, 2013. http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/taisaku_wg/pdf/syuto_wg_butsuri.pdf (参照 2018-8-2)
- 6) 東京都都市整備局: 地震に関する地域危険度測定調査報告書(第8回), 2018. http://www.toshiseibi.metro.tokyo.jp/bosai/chousa_6/home.htm (参照 2018-8-16)
- 7) 岩瀬早綾, 山崎文雄: 地域危険度測定調査データに基づく建物倒壊危険量の簡易推定, 日本地震工学会論文集, 第15巻, 第7号 (特集号), pp. 378-389, 2015.
- 8) 中央防災会議 南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ: 南海トラフ巨大地震の被害想定について (第一次報告), 2012. http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku/pdf/20120829_higai.pdf (参照 2018-8-16)
- 9) 中央防災会議 首都直下地震対策検討ワーキンググループ: 首都直下地震の被害想定と対策について (最終報告), 2012. http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/taisaku_wg/pdf/syuto_wg_report.pdf (参照 2018-8-16)
- 10) 堀江啓, 沖村孝, 鳥居宣之, 田中聡, 牧紀男, 林春男: 木造建物を対象とした層破壊被害関数の適用性に関する考察, 土木学会地震工学論文集, Vol. 27, 9p, 2003.
- 11) Miyakoshi, J., Hayashi, Y., Tamura, K. and Fukuwa, N.: Damage ratio functions of buildings using damage data of the 1995 Hyogo-Ken Nanbu earthquake, Proceedings of the 7th International Conference on Structural Safety and Reliability (ICOSSAR '97), Vol.1, pp.349-354, 1998.
- 12) 愛知県: 愛知県東海地震・東南海地震・南海地震等被害予測調査報告書 (平成23年度~25年度), 2014. <http://www.pref.aichi.jp/bousai/2014higaiyosoku/greenbooknew2.pdf> (参照 2018-8-2)
- 13) 藤原広行, 佐伯琢磨, 中村洋光, 河合伸一, 森川信之, 前田宜浩, はお憲生, 内藤昌平, 東宏樹, 岩城麻子, 清水智, 小丸安史, 若浦雅嗣, 時夷良典, 早川讓: 全国を対象とした地震リスク評価手法の検討, 防災科学技術研究所 研究資料, No. 415, 2018. http://dil-opac.bosai.go.jp/publication/nied_tech_note/pdf/n415_1.pdf (参照 2018-8-2)
- 14) 岡田成幸, 高井伸雄: 木造建築物の損傷度関数の提案と地震防災への適用: 地震動入力を確定的に扱う場合, 日本建築学会構造系論文集, 第 582 号, pp. 31-38, 2004.
- 15) 新井健介, 境有紀: 構造種別や層数を考慮した建物内人口を用いた地震被害推定, 第13回日本地震工学シンポジウム論文集, pp. 1716-1723, 2010.
- 16) 国土地理院: 平成28年熊本地震に関する情報. <http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H27-kumamoto-earthquake-index.html> (参照 2018-8-2)

- 17) 産業技術総合研究所 地質調査総合センター：平成28年（2016年）熊本地震及び関連情報。
<https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/kumamoto2016/index.html> (参照 2018-8-2)
- 18) 内閣府：熊本県熊本地方を震源とする地震に係る被害状況等について。
<http://www.bousai.go.jp/updates/h280414jishin/> (参照 2018-8-2)
- 19) 気象庁：平成28年（2016年）熊本地震の関連情報。
http://www.jma.go.jp/jma/menu/h28_kumamoto_jishin_menu.html (参照 2018-8-2)
- 20) 国土技術政策総合研究所，建築研究所：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No.929号（建築研究資料No.173号）。
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryounn/tnn0929.htm> (参照 2018-8-2)
- 21) 杉野未奈，山室涼平，小林素直，村瀬詩織，大村早紀，林康裕：2016年熊本地震における益城町の建物被害の分析，日本地震工学会論文集，Vol. 16, No. 10, pp.69-85, 2016.
- 22) Yamada, M., Ohmura, J. and Goto, H.: Wooden building damage analysis in Mashiki town for the 2016 Kumamoto earthquakes on April 14 and 16, Earthquake Spectra, EERI, Vol. 33, pp. 1555–1572, 2017.
- 23) 山田真澄：2016年熊本地震で益城町に現れた震災の島とその生成要因の考察．日本地震工学会論文集，第17巻，第5号，pp. 38-47, 2017.
- 24) Yamazaki, F., Suto, T., Inouguchi, M., Horie, K. and Liu, W.: Analysis of building damage in Mashiki Town due the 2016 Kumamoto, Japan, earthquake, Proceedings of the 16th European Conference on Earthquake Engineering, Thessaloniki, Greece, 8p, 2018.
- 25) Matsuoka, M. and Yamamoto, N.: Web-based Quick Estimation System of Strong Ground Motion Maps Using Engineering Geomorphologic Classification Map and Observed Seismic Record, Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering, PaperID:4016, 10p, 2012.
- 26) 松岡昌志：強震観測記録に基づく2016年熊本地震の地震動分布の推定，地域安全学会梗概集，No. 42, pp. 23-26, 2018.
- 27) 内閣府：災害に係る住家の被害認定．<http://www.bousai.go.jp/taisaku/unyoku.html> (参照 2018-8-2)
- 28) Urakawa, G., Hayashi, H., Tamura, T., Inoguchi, M., Horie, K., Higashida, M. and Hamamoto, R.: Building comprehensive disaster victim support system, Journal of Disaster Research, 5(6), 687-696, 2010.
- 29) 益城町：平成28年熊本地震益城町における対応の検証結果報告書，2017。
https://www.town.mashiki.lg.jp/bousai/kiji0032410/3_2410_1_up_jxcjdr5p.pdf (参照 2018-8-2)
- 30) 内閣府：被災者生活再建支援法施行令の一部を改正する政令の施行について〈抜粋〉，2010。
<http://www.bousai.go.jp/taisaku/pdf/hankai100903.pdf> (参照 2018-8-16)
- 31) 日本建築学会近畿支部鉄骨構造部会：1995年兵庫県南部地震鉄骨造建物被害調査報告書，1995.
- 32) 震災復興都市づくり特別委員会：阪神・淡路大震災被害実態緊急調査 被災度別建物分布状況図集，1995.
- 33) 岡田成幸，高井伸雄，地震被害調査のための建物分類と破壊パターン，日本建築学会構造系論文集，第524号，pp. 65-72, 1999.
- 34) 小川直樹，山崎文雄：航空写真を用いた兵庫県南部地震における建物被害の目視判読，地域安全学会論文集，No. 2, pp. 119-128, 2000.
- 35) 村尾修，山崎文雄：兵庫県南部地震における建物被害の自治体による調査法の比較検討，日本建築学会計画系論文集，No. 515, pp. 187-194, 1999.
- 36) 宮腰淳一，林康裕，福和伸夫：建物被害データに基づく各種の被災度指標の対応関係の分析，日本建築学会，構造工学論文集，Vol.48B, 2000.
- 37) 村尾修，山崎文雄：震災復興都市づくり特別委員調査データに構造・建築年を付加した兵庫県南部地震の建物被害関数，日本建築学会構造系論文集，第555号，pp. 185-192, 2002.
- 38) 国土地理院：地理院地図．<https://maps.gsi.go.jp/> (参照 2018-8-2)
- 39) 内閣府：被害認定調査・罹災証明書交付に係る補足資料。
<http://www.bousai.go.jp/updates/h280414jishin/h28kumamoto/pdf/h280929shiryu02.pdf> (参照 2018-8-2)
- 40) 村尾修，山崎文雄：兵庫県南部地震における建物被害の自治体による調査法の比較検討，日本建築学会構造系論文集，No. 515, pp. 187-194, 1999.

- 41) 長尾拓真, 山崎文雄: 2007年新潟県中越沖地震における柏崎市の建物被害分析, 地域安全学会論文集, No. 15, pp. 249-254, 2011.
- 42) 山口直也, 山崎文雄: 詳細な建物情報を含む被災度調査結果に基づく西宮市の地震動分布の再推定, 土木学会論文集, No. 640/I-50, pp. 203-214, 2000.
- 43) 鈴木達矢, 境有紀: 年代別被害関数を用いた木造建物の経年劣化と耐震規定による耐力変化の推定, 日本地震工学会論文集, 第 11 巻, 第 3 号, pp. 73-84, 2011.
- 44) 須藤巧哉, 山崎文雄, 劉ウエン: Wallstatを利用した熊本地震における木造建物被害シミュレーション, 土木学会第72回年次学術講演会講演概要集, I-542, pp. 1083-1084, 2017.
- 45) Asano, K. and Iwata, T.: Source rupture processes of the foreshock and mainshock in the 2016 Kumamoto earthquake sequence estimated from the kinematic waveform inversion of strong motion data, Earth, Planets and Space, 68: Article No. 147, 2016.
- 46) 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/map/> (参照 2018-8-2)
- 47) Karim, K.R. and Yamazaki, F.: Correlation of the JMA Instrumental Seismic Intensity with Strong Motion Parameters, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 31, No. 5, pp. 1191-1212, 2002.
- 48) 藤本一雄, 翠川三郎: 近年の強震記録に基づく地震動強さ指標による計測震度推定法, 地域安全学会論文集, No. 7, pp. 241-246, 2005.
- 49) 山口直也, 山崎文雄: 1995年兵庫県南部地震の建物被害率による地震動分布の推定, 土木学会論文集, 612/I-46, pp. 325-336, 1999.

(受理: 2018年10月18日)
(掲載決定: 2019年4月14日)

D Development of Building Fragility Curves Based on Mashiki Town's Disaster-Victim Certificate Data due the 2016 Kumamoto Earthquake

SUTO Takuya¹⁾, YAMAZAKI Fumio²⁾, MATSUOKA Masashi³⁾

INOUCHI Munenari⁴⁾, HORIE Kei⁵⁾ and LIU Wen⁶⁾

1) Non-member, Former Graduate Student, Chiba University

2) Member, Professor Emeritus, Chiba University, Dr. Eng.

3) Member, Professor, Department of Architecture and Building Eng., Tokyo Institute of Technology, Ph.D

4) Member, Associate Professor, Faculty of Sustainable Design, Toyama University, Ph.D

5) Member, Fellow, MS&AD InterRisk Research & Consulting, Inc., Ph.D

6) Member, Assistant Professor, Graduate School of Engineering, Chiba University, Ph.D

ABSTRACT

This study investigates the building damage in Mashiki Town based on damage survey data of the local government due to the 2016 Kumamoto, Japan, earthquake. The damage ratios of buildings were investigated from the viewpoints of structural material, construction period, roof types and the number of floors. Moreover, the heavy damage ratios of wooden buildings were compared with those from the 1995 Kobe earthquake and the 2007 Niigata-ken Chuetsu-Oki earthquake. As the result, the major damage ratio of wooden houses was found to be much larger than those of other structural materials (RC, steel and light-gauge steel), and it got higher as the construction period becomes older. The results were further compared with the estimated distributions of the peak ground velocity (PGV) and the Instrumental JMA seismic intensity and the fragility curves for different structural materials (wood, S, and LS) and those for wooden buildings for five construction periods were developed.

Key Words: The 2016 Kumamoto earthquake, Building damage, Peak ground velocity, The JMA seismic intensity, Fragility curve