

## 益城町の罹災証明データに基づく木造建物の被害関数構築の試み

山崎文雄<sup>1)</sup>, 須藤巧哉<sup>2)</sup>, 堀江啓<sup>3)</sup>, 松岡昌志<sup>4)</sup>,

井ノ口宗成<sup>5)</sup>, 劉ウエン<sup>6)</sup>

1) 千葉大学大学院 工学研究院, 教授 工博  
e-mail : fumio.yamazaki@faculty.chiba-u.jp

2) 千葉大学大学院 融合理工学府, 大学院生  
e-mail : ahma4861@chiba-u.jp

3) MS&AD インターリスク総研株式会社, フェロー 博 (工)  
e-mail : kei.horie@ms-ad-hd.com

4) 東京工業大学 環境・社会理工学院, 教授 博 (工)  
e-mail : matsuoka.m.ab@m.titech.ac.jp

5) 富山大学 都市デザイン学部, 准教授 博 (情報学)  
e-mail : inoguchi@sus.u-toyama.ac.jp

6) 千葉大学 大学院工学研究院, 助教 博 (工)  
e-mail : wen.liu@chiba-u.jp

### 要 約

2016年熊本地震における建物被害に関して、益城町による被害認定調査結果と家屋台帳データに基づいて、構造別、建築年代別の被害率を分析した。被害率は構造種別に大きく影響を受けるとともに、木造に関しては、耐震基準改正に応じた年代区分に対応し、全壊率が減少する傾向を確認できた。また、観測記録の空間補間による最大速度分布を用いて、構造別（木造、鉄骨造、軽量鉄骨造）および木造の建築年代別（5区分）の統計的な建物被害関数を構築した。

キーワード： 2016年熊本地震, 建物被害, 木造建物, 最大速度, 被害関数

### 1. はじめに

2016年4月14日と4月16日に連続して発生した熊本地震では、熊本県益城町では2度にわたり震度7に相当する地震動が観測され、数多くの建物に甚大な被害が生じた。地震発生の直後から、益城町を主な対象として様々な機関による建物被害調査が実施され、その分析結果がすでに報告されている<sup>1)-3)</sup>。また著者らも現地調査を複数回も行い、衛星や航空機からの各種のリモートセンシング技術を用いて、地殻変動の抽出、倒壊建物や斜面崩壊の検出を行ってきた<sup>4)-7)</sup>。

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<sup>8)-10)</sup>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。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<sup>11)</sup>。この認定結果に基づき罹災証明書が発行された。

本研究では、益城町による罹災証明発行記録に課税台帳ベースの家屋情報を付加したデータを用いて、建物被害の分析を行う。この結果を我が国の他の被害地震に対する自治体による被害調査結果と比較するとともに、推定最大速度分布を用いて、統計的な建物被害関数の構築を試みる。

## 2. 益城町における建物被害認定調査

自治体による被害認定調査では、建物の被災区分は、全壊、大規模半壊、半壊、一部損壊、無被害に分類される<sup>10),11)</sup>。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図1に示す。また益城町では、熊本地震後の罹災証明書の発行段階において、被災者の合意の下、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。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課税台帳情報からなるデータを「元データ」として使用する。

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。しかし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個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20m<sup>2</sup>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<sup>12)</sup>。

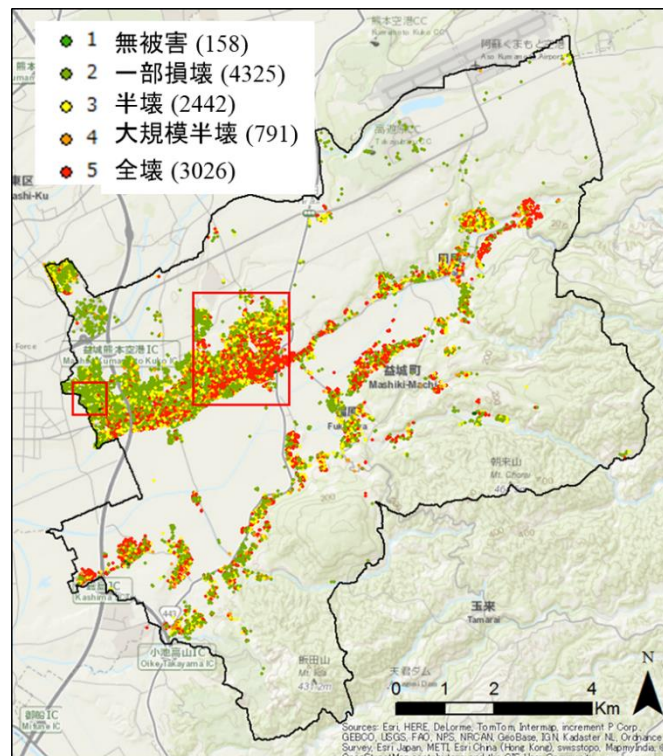


図1 益城町の被害認定調査における建物被害分布（建物数は検証報告書<sup>11)</sup>の棟数ベースのもの）

## 3. 益城町の建物被害分析

益城町の建物構造別の被害率を図2に示す。全壊率は木造が最も高く、次いでCB造、S造、軽量S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を図3に示す<sup>13)</sup>。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被害率の傾向はよく近似している。ただ、絶対的な被害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<sup>14)</sup>。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年間の差による建物の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4(a)に示す。今回は新潟県中越沖地震の新潟県柏崎市の例<sup>15)</sup>を参考に、新耐震基準においても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ものほど被害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。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、これらの建物が建てられてから65年以上という長い年月が経過しており、それだけの年月が経過しても残存する建物には、良質のものの割合が高い可能性が考えられる。

図4(b)には、1年毎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、被害率は大きくなっている。新耐震と呼ばれる1982年（正確には1981年6月）以降の建物においても、新しい建築年になるにしたがい被害率が低下する傾向が顕著にみられる。同様の傾向は、被害率はずっと低いが、2007年新潟県中越沖地震の柏崎市の建物被害データ<sup>15)</sup>においても見られており、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。

木造建物の屋根形式別および建築年代別の被害率を図5に示す。いずれの年代区分においても、全壊率は瓦屋根の建物が最も大きくなっている。また、1991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。ここで重要なことは、やはり瓦のような重い屋根は、地震力が大きく作用し、被害を受けやすくなるということであり、兵庫県南部地震における灘区や西宮市による被災度調査結果でも見られていた。したがって、屋根区分も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多いので、現時点では難しいと考えられる。

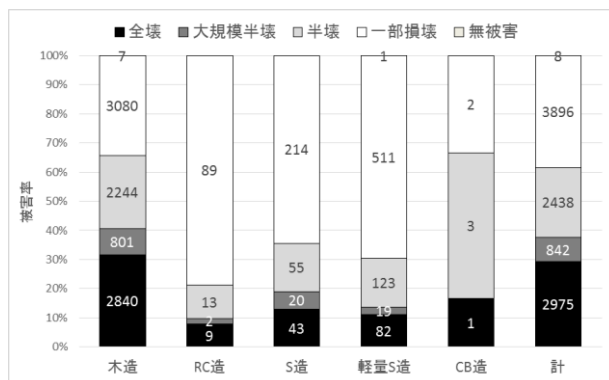


図2 熊本地震による益城町の構造別被害率

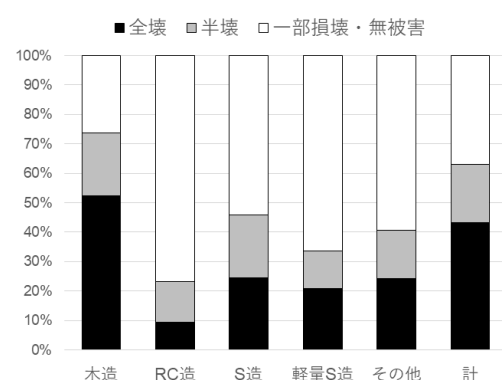
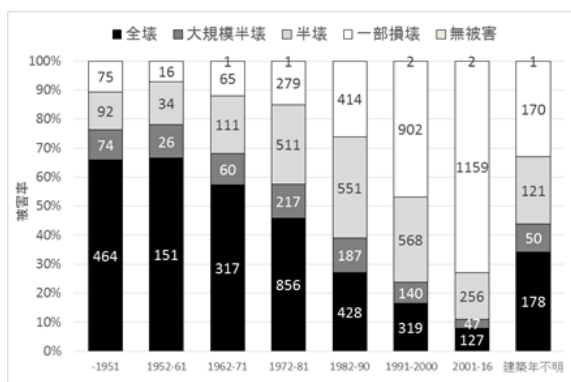
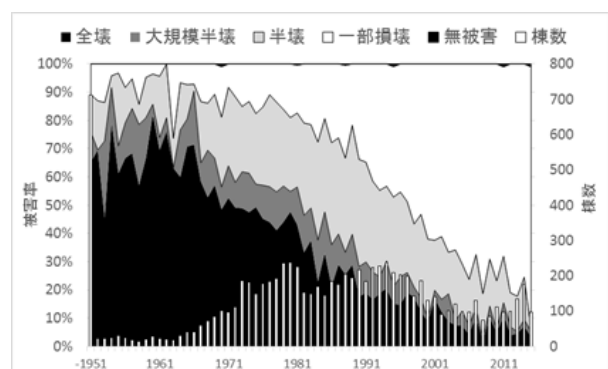


図3 兵庫県南部地震による灘区の構造別被害率<sup>13)</sup>



(a) 建築年代区分別の被害率



(b) 建築年ごとの被害率と建物数

図4 熊本地震による益城町の木造建物被害率と建築年の関係

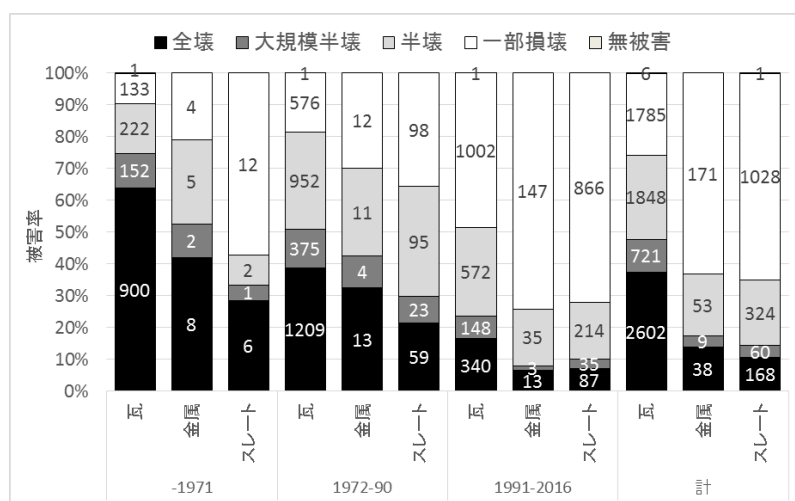


図5 益城町の木造建物の被害率と屋根種別および建築年代との関係

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<sup>13)</sup>、西宮市<sup>16),17)</sup>、2007年新潟県中越沖地震における柏崎市<sup>15)</sup>の結果と比較したものを図6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オーダー的に近似しており、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。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かかわらず、全壊率は非常に小さかった。

熊本地震の地震断層のごく近傍の益城町において、兵庫県南部地震から21年後にもかかわらず、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。ただし、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、全壊の判定が甘かったという見方も指摘されている。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かかわらず、全壊率は非常に小さく、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。1つの要因としては、これらの地震の多くは寒冷地で起きたもので、凍上や雪荷重に対応するため、木造建物は壁が厚く、構造的に強いと考えられる。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、相対的に木造被害率の高くなった阪神地域や熊本地方では、台風に対応した重い屋根の割合が高いことも原因として指摘されている。

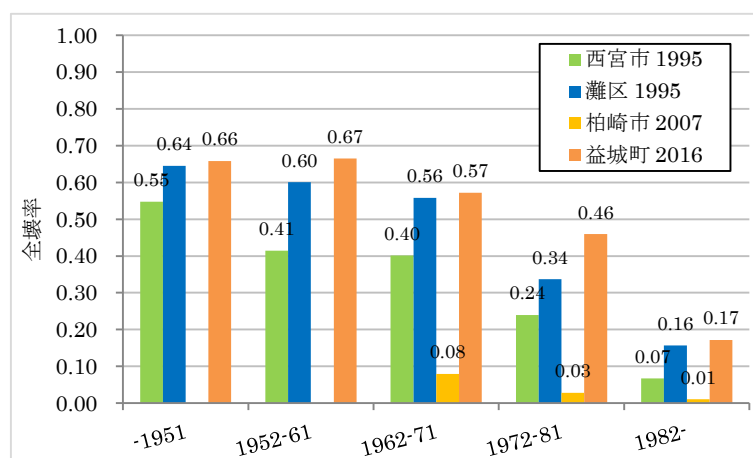


図6 近年の3地震における木造建物の全壊率の比較

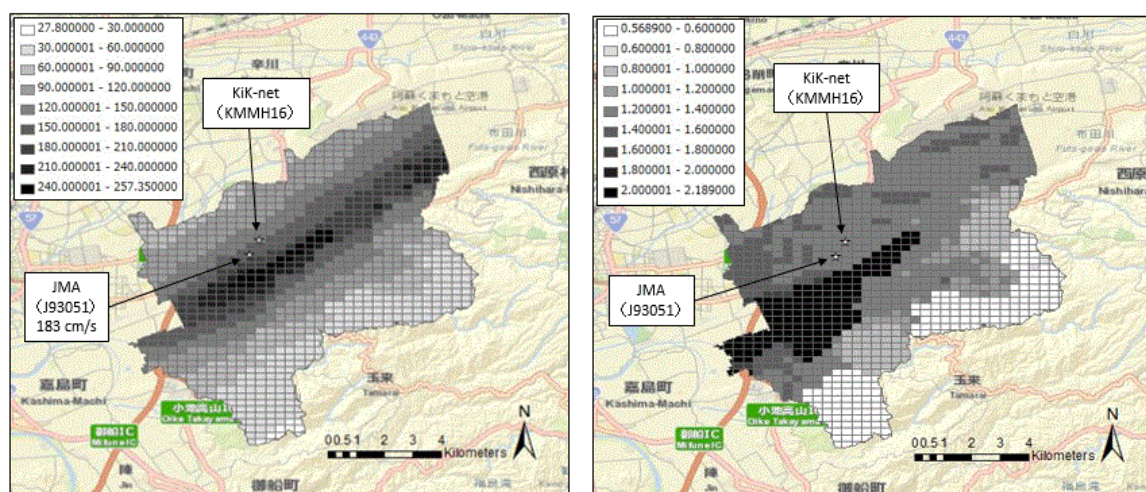


#### 4. 益城町における地震動分布の推定

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、QuiQuakeが採用している計算手法<sup>18)</sup>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。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、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、最大速度(PGV)の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。

250mメッシュ単位の益城町におけるPGV分布を図7(a)に示す<sup>19)</sup>。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増幅率と距離減衰に応じた分布性状を示す。

益城町におけるPGV増幅率の分布を図7(b)に示す。益城町中心部の南側には広範囲にわたり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増幅率に大差がなく、そのため周辺の推定PGVの値にも大差がない。



(a) 最大地表面速度 (PGV) 分布

(b) PGV 増幅率分布

図7 益城町における推定PGV分布とPGV増幅率分布

#### 5. 益城町による被害認定調査データに基づく建物被害関数の構築

益城町による被害認定調査データと推定PGV分布を用いて、構造別の被害関数の構築を試みる。GIS上で建物1棟ごとに、その位置(250mメッシュ)のPGVをリンクしたあと、対象とする構造・建築年区分ごとに地震動指標 (PGV) の大きさに並び替えたうえで、PGVのレベルが同程度のいくつかの建物一つのグループとして区分した。各構造・建築年代ごとの棟数と区分数を表1に示す。データ数の多い木造に関しては、全体での区分数を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、軽量S造に関しては5区分とした。また区分ごとの代表PGVの値は、棟数による平均により求めた。

ここで求めたPGVと被害率の関係から、建物被害関数 (被害率曲線) を求める。ある地震動強度 $x$ のときに被災ランク $R$ 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<sup>13), 17)</sup>と同じく、以下の対数正規分布で表せると仮定した。

$$P_R(PGV) = \Phi((\ln PGV - \lambda) / \zeta) \quad (1)$$

ここで係数 $\lambda$ ,  $\zeta$ は,  $\ln x$ 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.

構造種別ごとの被害関数は, 棟数が充分ある木造, S造, 軽量S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, 全体としても被害関数の構築は困難であった.

結果として得られた被害関数の回帰係数を表2に示す. 相関係数を構造別(全年代)にみると, 木造の半壊以上率が0.67ではあるが, 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.

この構造別の全壊率および半壊(以上)率に対する被害関数を図8に示す. 全壊率, 半壊率ともに同じPGVに対して, 木造の被害率はS造や軽量S造の約2倍の値になっている. 木造の半壊率に関しては, 益城町で最も低いランクのPGV(約65cm/s)においても, 60%を超える半壊率になっているため立ち上がり早くやや不自然に見える. 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を加える必要があり, 今後の課題である.

最後に, 同様の手法で構築した木造建物の建築年代別の全壊率の被害関数を図9に示す. 全体的にはそれぞれの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. 1981年以前の建物は20cm/sを超えたあたりで被害が発生し始めているのに対し, 1982年以降に建てられた60cm/sあたりから被害が発生し始めている. 同一のPGVにおける全壊率には大きな差が見られ, とくに旧耐震基準の建物と新耐震基準の建物には大きな違いが見られると言える.

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<sup>20)</sup>の地域危険度評価や内閣府<sup>21)</sup>の地震被害想定において, この3区分する提案はすでに採用されている.

なお, ここで試算した木造建物の建築年代別の被害率は, 1995年兵庫県南部地震のデータに基づき構築した神戸市灘区や西宮市の被害関数より, やや低めの値を示している. 詳細な比較は今後に行うが, 地震動分布の推定や被害認定の仕方などに違いがあり, 筆者らとしては今回の益城町のものを推奨したい. ただ, わ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.

表1 建物被害関数作成のための構造・年代区分の分類と対象建物数

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
軽量S造	全体	736	5	147 or 148

表2 熊本地震の益城町データに基づく建物被害関数の回帰係数

構造種別	建築年代	全壊率			半壊以上率		
		$\lambda$	$\zeta$	$R^2$	$\lambda$	$\zeta$	$R^2$
木造	全年代	5.38	0.79	0.81	4.47	1.15	0.67
	1962-71	4.84	0.71	0.87	3.80	0.94	0.78
	1972-81	5.11	0.76	0.76	3.50	1.40	0.65
	1982-90	5.41	0.64	0.88	4.11	1.27	0.63
	1991-2000	5.70	0.70	0.86	4.83	1.26	0.66
	2001-16	6.62	0.89	0.63	5.52	0.93	0.84
S造	全年代	5.96	0.87	0.80	5.26	0.96	0.76
軽量S造	全年代	5.90	0.76	0.96	5.35	0.88	0.90

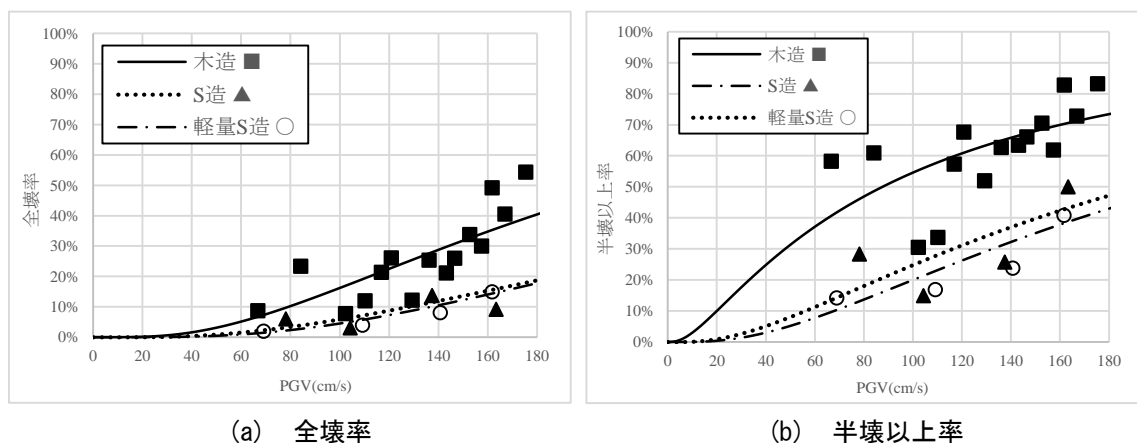


図8 益城町の建物構造別の被害関数

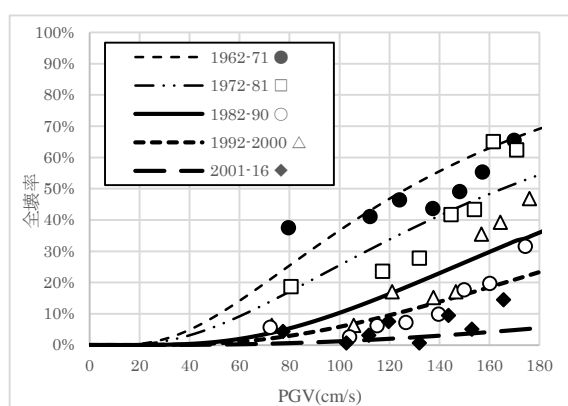


図9 木造建物の建築年代別の建物被害関数（全壊率）

## 9. まとめ

2016年熊本地震における建物被害に関して、益城町による被害認定調査結果と家屋台帳データに基づいて、構造別、建築年代別の被害率を分析した。また益城町における推定最大速度分布を用いて、構造別（木造・鉄骨造・軽量鉄骨造）および木造の建築年代別（5区分）の建物被害関数を構築し、速報結果として報告した。詳しい検証や他の研究結果との比較については、次の機会に報告する。

## 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) 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/siryou/tnn/tnn0929.htm> (参照 2018-8-2)
- 2) 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.
- 3) 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.
  - 4) Yamazaki, F. and Liu, W. : Remote sensing technologies for post-earthquake damage assessment: A case study on the 2016 Kumamoto earthquake, Keynote Lecture, 6th Asia Conference on Earthquake Engineering, Cebu City, Philippines, 8p, 2016.
  - 5) 久保佳澄, 田邊諒士, 山崎文雄: UAV 空撮による 2016 年熊本地震の被害把握と 3 次元モデル作成, 第 61 回学術講演会論文集, 日本リモートセンシング学会, pp. 115-118, 2016.
  - 6) Moya, L., Yamazaki, F., Liu, W., Chiba, T.: Calculation of coseismic displacement from lidar data in the 2016 Kumamoto, Japan, earthquake, Natural Hazards and Earth System Sciences, 17, pp. 143-156, 2017.
  - 7) Moya, L., Yamazaki, F., Liu, W., Yamada, M.: Detection of collapsed buildings due to the 2016 Kumamoto, Japan, earthquake from Lidar data, Natural Hazards and Earth System Sciences, 18, pp. 65-78, 2018.
  - 8) 内閣府: 災害に係る住家の被害認定, <http://www.bousai.go.jp/taisaku/unityou.html> (参照 2018-8-2)
  - 9) Urakawa, G., Hayashi, H., Tamura, K., Inoguchi, M., Horie, K., Higashida, M., Hamamoto, R.: Building comprehensive disaster victim support system, Journal of Disaster Research, 5(6), pp. 687-696, 2010.
  - 10) 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/h280929shiryo02.pdf> (参照 2018-8-2)
  - 11) 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](https://www.town.mashiki.lg.jp/bousai/kiji0032410/3_2410_1_up_jxcjdr5p.pdf) (参照 2018-8-2)
  - 12) 須藤巧哉, 山崎文雄, 井ノ口宗成, 堀江啓, 劉ウエン: 罹災証明データに基づく 2016 年熊本地震における益城町の建物被害分析, 2018 年度日本建築学会大会学術講演概要集 (東北), pp. 657-658, 2018.
  - 13) 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.
  - 14) 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.
  - 15) 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.
  - 16) 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.
  - 17) 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.
  - 18) 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, Paper ID: 4016, 10p, 2012.
  - 19) 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.
  - 20) 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](http://www.toshiseibi.metro.tokyo.jp/bosai/chousa_6/home.htm) (参照 2018-8-16)
  - 21) 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](http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/taisaku_wg/pdf/syuto_wg_butsuri.pdf)



# **Development of Fragility Curves for Wooden Buildings based on Damage Survey Data of Mashiki Town**

YAMAZAKI Fumio <sup>1)</sup>, SUTO Takuya <sup>2)</sup>, HORIE Kei <sup>3)</sup>,  
MATSUOKA Masashi <sup>4)</sup>, INOBUCHI Munenari <sup>5)</sup>, LIU Wen <sup>6)</sup>

1) Professor, Graduate School of Engineering, Chiba University, Dr. Eng.

2) Graduate Student, Department of Urban Environmental Systems, Chiba University.

3) Fellow, InterRisk Research Institute & Consulting, Inc., Ph.D.

4) Professor, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

5) Associate Professor, Toyama University, Ph.D.

6) Assistant Professor, Chiba University, Ph.D.

## **ABSTRACT**

In this study, we analyzed the building damage in Mashiki town based on damage survey data of local government. As a result, the damage ratio of wooden buildings is much larger than those of other structural materials (RC and steel), and it also gets higher as the construction period becomes older. It is observed that the building damage ratios in the 2016 Kumamoto earthquake are in the similar levels with those in the Hyogoken-Nanbu (Kobe) earthquake for the same structural type and construction period. The results were further compared with the distribution of peak ground velocity (PGV) and the fragility curves for different structural types (wood, S, and LS) and those for wooden buildings for five construction periods were developed.

*Keywords: the 2016 Kumamoto earthquake, Building damage, Wooden building, Peak ground velocity, Fragility curve*