

悉皆調査に基づく2016年熊本地震における 伝統構法木造建築物の被害と柱脚移動の分析

Study on Damage and Column-base Movement of Traditional Timber Buildings
Based on Inventory Surveys on the 2016 Kumamoto Earthquake

向坊恭介¹・佐藤英佑²・鈴木祥之³

Kyosuke Mukaibo, Eisuke Sato and Yoshiyuki Suzuki

¹鳥取大学助教 工学研究科 (〒680-8550 鳥取市湖山町南4-101)

Assistant Professor, Tottori University, Graduate School of Engineering

²立命館大学客員研究員 衣笠総合研究機構 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Visiting Researcher, Ritsumeikan University, Kinugasa Research Organization

³立命館大学教授 衣笠総合研究機構 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Professor, Ritsumeikan University, Kinugasa Research Organization

In this paper, we analyze damage and column-base movement of traditional timber buildings on the 2016 Kumamoto Earthquake, based on inventory surveys. We chose two districts as inventory survey area. Most of the traditional timber buildings in the areas could be classified as either house or barn, and the damage of barn buildings were heavier than that of houses. Column-base movement were observed at many buildings, and it is found that the heavy damage of surrounding soil and foundation tended to increase the column-base movement.

Keywords: *The 2016 Kumamoto Earthquake, Traditional timber building, Inventory Survey*

1. はじめに

2016年熊本地震では震度7を2度観測するなど強い地震動によって甚大な被害が生じた。被災地域には伝統構法による木造建築物も多く存在しており、やはり大きな被害を受けている。わが国で歴史都市防災を考える際には、伝統木造建築物の被害を整理、分析しておくことは重要と考える。

また、伝統木造建築物の特徴のひとつに石場建ての柱脚仕様が挙げられる。石場建て構法では、柱脚を基礎に緊結せず、礎石上に設置するのみであるので、大地震時に柱脚が移動する可能性がある。振動による慣性力が柱脚-礎石間の摩擦力を上回って水平方向に滑りを生じるケースや敷地地盤の変状・基礎の崩壊によって柱脚が移動するケースなどが考えられる。柱脚の滑りに着目した既往の実験的研究¹⁾では、滑りが生じることで建築物に作用する慣性力が頭打ちになり、柱脚を固定した場合に比べて応答変形角が小さくなることが確認されている。また、2質点系モデルを用いた数値解析による検討²⁾でも2層先行崩壊となるようなケースを除いて、同様に柱脚の滑りによる応答変形角の減少効果が見られている。ただし、実際の地震被害において柱脚移動の状況や原因、上部構造の被害程度との関係について詳細な分析はなされていない。

そこで、本稿では日本建築学会近畿支部木造部会による外観悉皆調査のデータ³⁾に基づいて、大地震時の伝統木造建築物の被害と柱脚移動について分析を行う。

2. 外観悉皆調査の概要

調査対象地区は、伝統構法による木造建築物が多く存在する地域として熊本県上益城郡益城町小谷（おやつ）地区、熊本県阿蘇郡西原村布田地区を選定した。小谷地区は、集落の中央を木山川の支流が縦断する谷あいの緩傾斜地で、比較的密集した住宅地、一方の布田地区は、周辺を田畑で囲まれた比較的平坦な住宅地である。国土地理院地理院地図⁴⁾を基に作成した調査範囲を図1に示す。

調査は、2～3名を1チームとして行い、可能な場合は住民へのヒアリングを行った。調査期間は2016年5月21～23日である。外観目視で確認した各部の被害状況から、表1の判定表を参照して総合判定（無被害～倒壊）を調査者の判断により決定した。調査シートを論文末尾に付図1として示す。

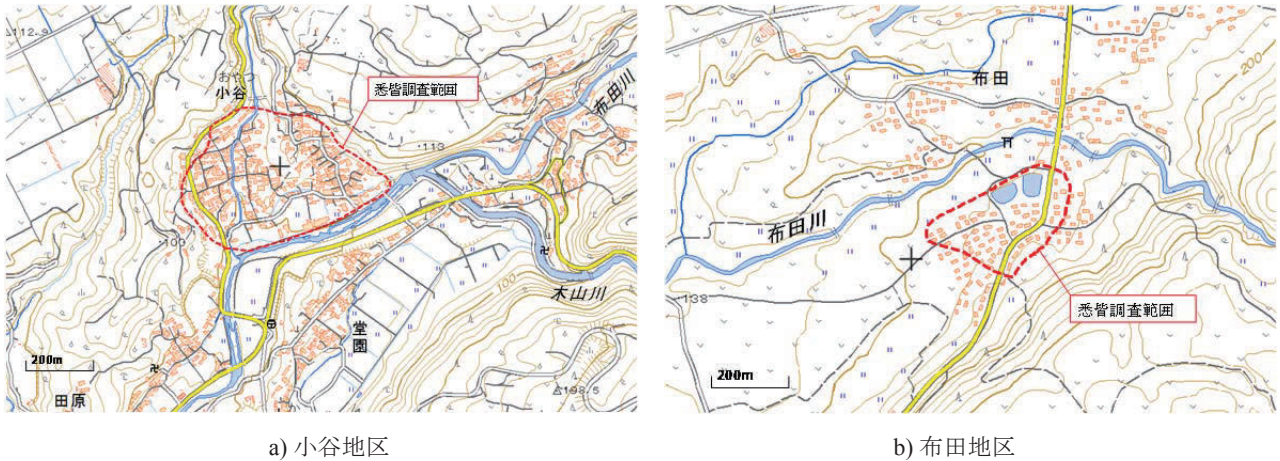


図1 外観悉皆調査範囲

表1 被害程度の判定表

軸組架構	屋根	外壁	基礎	総合判定
層崩壊	—	—	—	倒壊
傾斜大、一部崩壊	小屋組破損大	下地剥落	基礎崩壊	大破
傾斜中～小	屋根材ずれ・落下	仕上げ脱落	ひび割れ・ずれ	中破
傾斜小		亀裂・仕上げ剥落	亀裂	小破
傾斜なし	屋根材ずれ	軽微なひび割れ		軽微
外観上被害なし				無被害

3. 熊本県上益城郡益城町小谷地区の被害状況

(1) 建築物の概況

建築物の概況として、用途、構造形式の割合を図2、3に、調査棟数を表2に示す。用途の集計結果にも表れているとおり、同一敷地内に専用住宅と倉庫・納屋を併存しているケースが多く、構造形式としては、伝統木造と在来木造がほとんどを占めていた。ここで、「伝統木造」はいわゆる伝統構法による木造建築物を指すものとし、「在来木造」はいわゆる建築基準法施行令第三章第三節木造および平成12年度建設省告示第1460号などによる壁量計算や仕様規定に沿った木造建築物を指すものとする。伝統木造では石場建て構法のように柱脚の移動を許容するものがある。一方、在来木造では柱脚および土台は基礎に緊結される。

用途の多くが専用住宅と倉庫・納屋（合わせて約88%）であることを考慮して、用途別に各項目を整理したものを図4～6に示す。専用住宅では、伝統木造が約30%、在来木造が約60%、車庫・納屋では、伝統木造が約65%、在来木造が約20%であることが分かる。階数は、専用住宅では平屋20%、総2階建て約20%、部分2階建てが約60%、倉庫・納屋では平屋約30%、総2階建て約50%であった。専用住宅は、棧瓦葺き入母屋屋根を複雑に架けたものが多かった。一方、倉庫・納屋は、棧瓦葺き切妻屋根、正面が開放的で大断面の梁を有することが特徴的であった。以降の分析においては、伝統木造の専用住宅および倉庫・納屋の調査結果を主に対象とする。写真1～3に専用住宅および倉庫・納屋の例、後述する柱脚移動の例を示す。

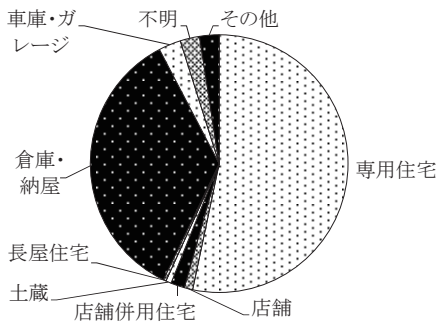


図2 建築物の用途

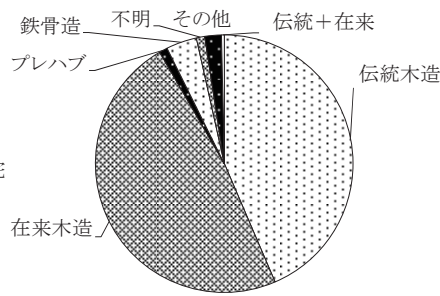


図3 建築物の構造形式

表 2 用途と構造形式ごとの調査棟数

用途	構造形式		
	伝統木造	在来木造	その他
専用住宅	49	99	5
倉庫・納屋	67	23	11
その他・不明	9	16	8

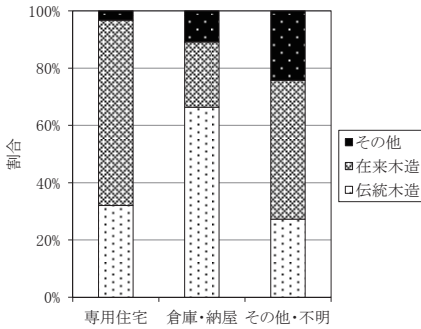


図 4 用途ごとの構造形式

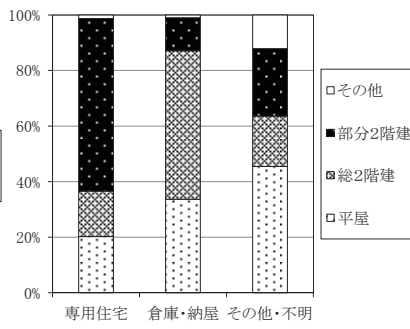


図 5 用途ごとの階数

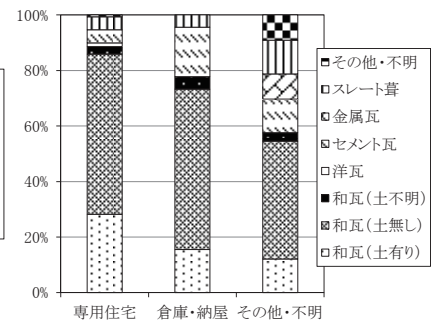


図 6 用途ごとの屋根葺き材



写真1 専用住宅の例



写真2 倉庫・納屋の例



写真3 柱脚移動の例 (伝統・納屋)

(2) 構造形式・用途ごとの被害状況

伝統木造の用途ごとの被害程度を図 7 に示す。専用住宅と倉庫・納屋を比べると、倉庫・納屋の方が倒壊率、大破率が高いことが分かる。大破以上となった割合は、専用住宅で約 15%、倉庫・納屋で約 40%であった。倉庫・納屋では、正面に大開口を有し、他の 3 面が全面壁となっている場合がほとんどであり、間口方向の偏心が非常に大きかったことが要因のひとつと考えられる。

柱脚仕様ごとの被害程度を図 8 に示す。石場建て仕様で水平移動を拘束していないものを「石場建て (フリー)」、拘束しているものを「石場建て (固定)」と分類し、柱脚仕様が不明であったものは除外している。専用住宅では、石場建て (フリー) の方が大破率がやや小さく、中破率は大きくなっている。一方、倉庫・納屋では、石場建て (フリー) の方が倒壊・大破率が高く、被害が大きくなっている。

次に、建築年代ごとの伝統木造の被害程度を図 9 に示す。ただし、石場建てでないものも含んでいる。「非常に古い」は築 35 年以上、1981 以前、「古い」は築 15～35 年、1981～2000 年、「新しい」は築 15 年以内、2000 年～という区分で調査者が判断している。建築年代が不明であったものは除外している。専用住宅では、「非常に古い」もので倒壊が 1 棟あったものの、大破・中破率は建築年代によらないことが分かる。倉庫・納屋では、非常に古いものの大破率が大きくなっている一方で、倒壊・中破率は「非常に古い」と「古い」でほとんど変わらない。

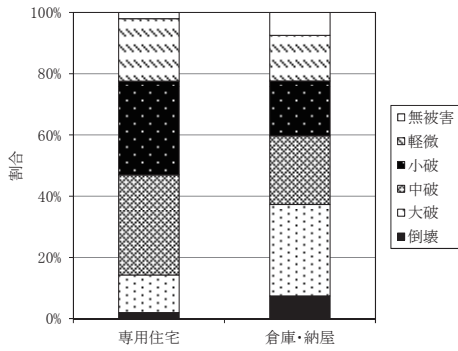


図7 用途ごとの被害程度

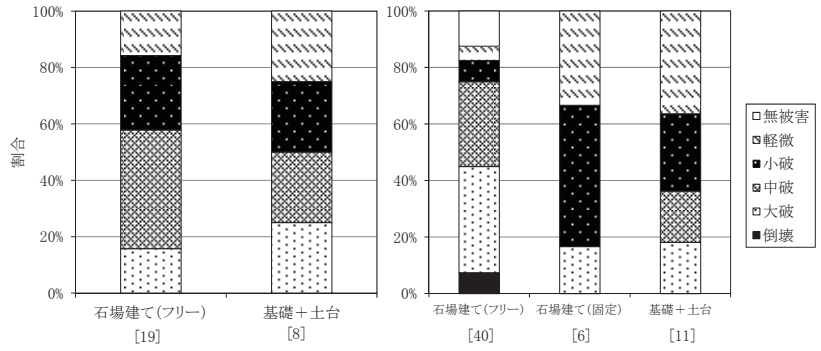


図8 柱脚仕様ごとの被害程度 (括弧内は母数、以下同様)

比較のため、同様に建築年代ごとの在来木造の被害程度を図10に示す。専用住宅の結果を見ると、建築年代が古いものほど被害が大きくなっていると言える。「非常に古い」ものを伝統木造と比較すると、大破以上となった割合は同程度であるが、中破を加えると在来木造の方が被害が大きい。倉庫・納屋は母数が少ないが、「非常に古い」もので倒壊など大きな被害があることが分かる。伝統木造と比較すると、倒壊率は在来木造の方が高いが大破や中破といった被害は伝統木造の方が多い。

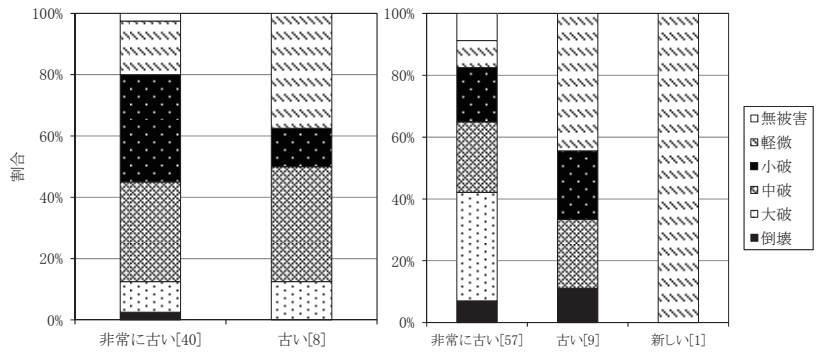


図9 建築年代ごとの伝統木造の被害程度

(3) 石場建ての伝統木造の柱脚移動の分析

石場建ての伝統木造における柱脚の移動量を表3に示す。表中の「記入無し」は、柱脚の移動は確認できたものの調査シートに移動量の記入が無いものである。後述の布田地区に比べると柱脚が移動した棟数は少なく、移動量も20cm以内に収まっている。特に専用住宅では5cm以内が1棟のみであり、倉庫・納屋で多く移動していることが分かる。倉庫・納屋では、大開口を有する正面側が偏心によって大きく変形し、柱脚が引きずられる形で移動したと考える。

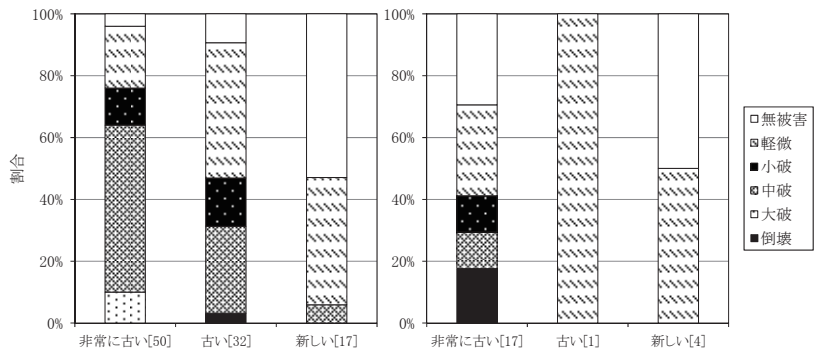


図10 建築年代ごとの在来木造の被害程度

表3 石場建て伝統木造の柱脚の移動量

用途	柱脚の移動量[cm]						記入無し	移動無し
	~5	~10	~15	~20	~25	~30		
専用住宅	1	0	0	0	0	0	0	18
土蔵	1	0	0	1	0	0	0	0
倉庫・納屋	10	3	2	0	0	0	6	25
車庫・ガレージ	1	0	0	0	0	0	0	0
計	13	3	2	1	0	0	6	43

ここでの移動量は、柱脚の滑りなどによるものに加えて、基礎、地盤の被害に起因するものも含まれていると考えられる。柱脚の移動が確認された 25 棟における敷地擁壁および基礎の被害を図 11、12 に示す。いずれも 6～7 割が無被害となっており、布田地区に比べて被害が小さい。敷地擁壁や基礎の被害が小さかったため、柱脚の移動量も小さかったと考えられる。

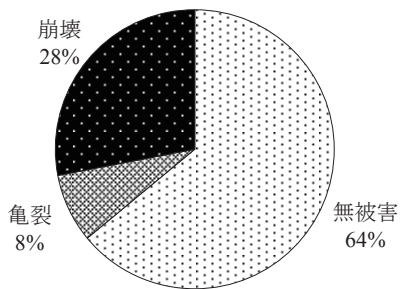


図 11 柱脚移動があった建築物の敷地擁壁の被害

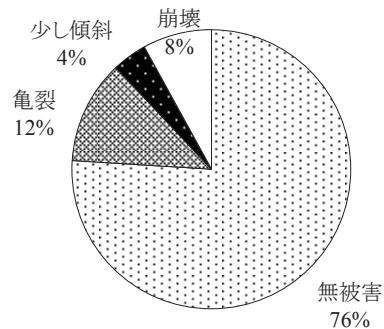


図 12 柱脚移動があった建築物の基礎の被害

4. 熊本県阿蘇郡西原村布田地区の被害状況

(1) 建築物の概況

用途、構造形式の集計結果を図 13、14、調査棟数を表 4 に示す。益城町小谷地区と同様に、同一敷地内に専用住宅と倉庫・納屋を併存しているケースが多かった。専用住宅と倉庫・納屋で全体の 89%を占めている。構造形式としては、伝統木造と在来木造がほとんどを占めている。

前章と同様に用途別に各項目を整理した結果を図 15～17 に示す。専用住宅では伝統木造が約 40%、在来木造が約 50%、倉庫・納屋では伝統木造が約 70%、在来木造が約 20%であった。階数は、専用住宅では平屋が約 35%、総 2 階建てが約 15%、部分 2 階建てが約 50%、倉庫・納屋では平屋や約 20%、総 2 階建てが約 80%であった。屋根葺き材は、専用住宅の約 60%、倉庫・納屋の約 40%が桧瓦、残りがセメント瓦であった。専用住宅は南側に縁側を有する、いわゆる田の字型平面と推察される平面形式の建築物が見られた。倉庫・納屋は益城町小谷地区と同様に正面開口に大断面の梁を有する形式のものが多く見られた。

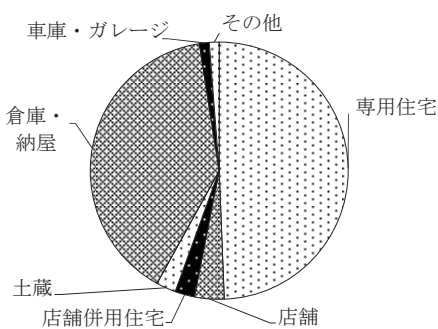


図 13 建築物の用途

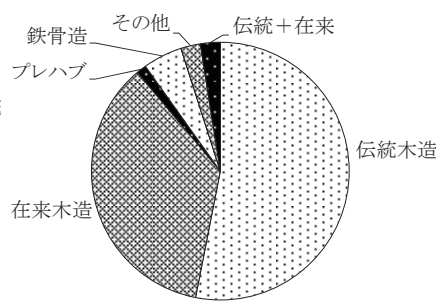


図 14 建築物の構造形式

表 4 用途と構造形式ごとの調査棟数

用途	構造形式		
	伝統木造	在来木造	その他
専用住宅	17	19	4
倉庫・納屋	23	5	4
その他・不明	3	5	1

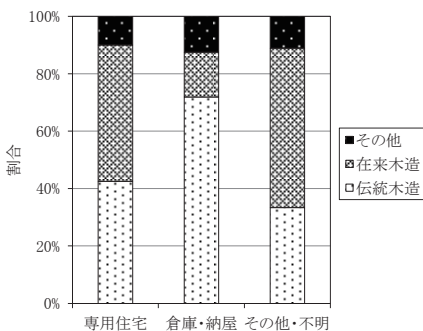


図 15 用途ごとの構造形式

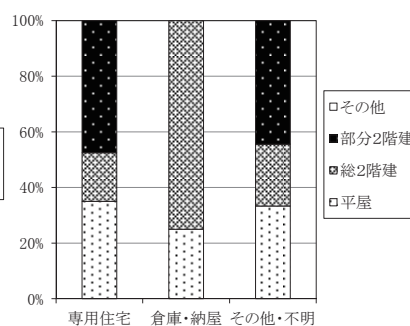


図 16 用途ごとの階数

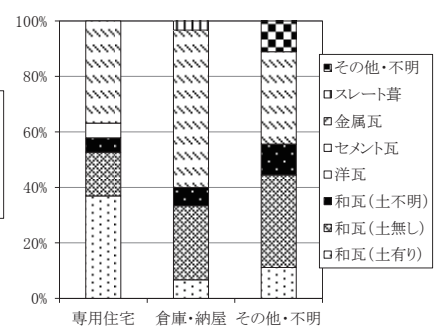


図 17 用途ごとの屋根葺き材

(2) 構造形式・用途ごとの被害状況

伝統木造の用途ごとの被害程度を図 18 に示す。倉庫・納屋の方が被害が大きくなっており、倒壊率が約 40%と非常に高い。やはり正面の大開口による偏心率の高さが被害の大きさにつながっていると考えられる。専用住宅でも倒壊率は約 5%であるが、大破、中破がそれぞれ約 50%、約 40%と多くの建築物で被害が大きいことが分かる。

柱脚仕様ごとの被害程度を図 19 に示す。前章と同様に柱脚仕様が不明であったものは除外している。専用住宅では母数が少ないため、柱脚仕様による比較は難しいが、倉庫・納屋では石場建て（フリー）の方が被害が小さくなっていることが分かる。

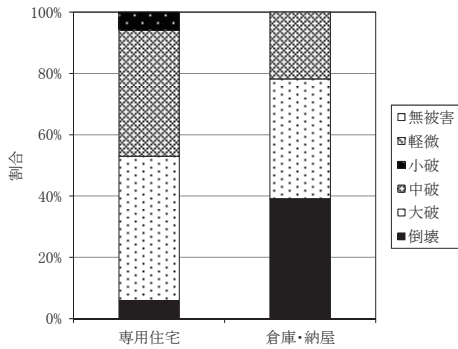
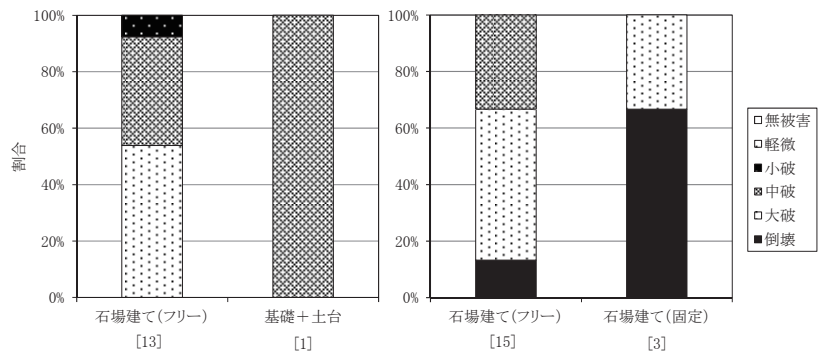


図 18 用途ごとの被害程度

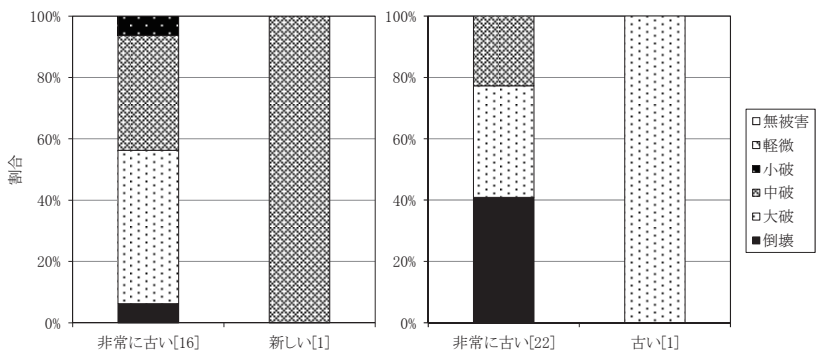


a) 専用住宅

b) 倉庫・納屋

図 19 柱脚仕様ごとの被害程度

次に、建築年代ごとの伝統木造の被害程度を図 20 に示す。前章と同様に建築年代が不明であったものは除外している。ほとんどが「非常に古い」に分類され、母数が少ないため建築年代による比較は難しい。建築年代ごとの在来工法の被害程度を図 21 に示す。専用住宅の結果を見ると、建築年代が古いものほど被害が大きくなっていると言える。「非常に古い」ものを伝統木造と比較すると、伝統木造で倒壊が 1 棟あったが、大破以上あるいは中破以上となった割合は同程度であると言える。倉庫・納屋は母数が少ないが、「非常に古い」もので倒壊など大きな被害があることが分かる。「非常に古い」ものを伝統木造と比較するとほぼ同程度の被害となっていると言える。



a) 専用住宅

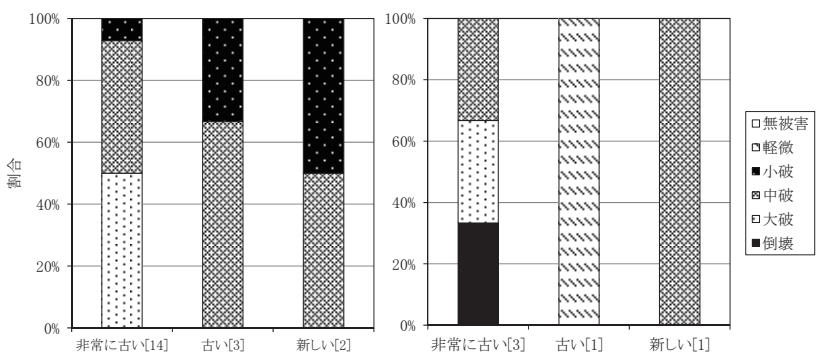
b) 倉庫・納屋

図 20 建築年代ごとの伝統木造の被害程度

(3) 石場建ての伝統木造の柱脚移動の分析

石場建ての伝統木造における柱脚の移動量を表 5 に示す。前章の益城町小谷地区と比べると、柱脚が移動した棟数が多く、移動量も大きいことが分かる。

柱脚の移動が確認された 25 棟における敷地擁壁および基礎の被害を図 22、23 に示す。小谷地区の結果と比べると、敷地擁壁や基礎の崩壊など大きな被害が出ており、これらの被害が大きな柱脚の移動量につな



a) 専用住宅

b) 倉庫・納屋

図 21 建築年代ごとの在来木造の被害程度

がったと考えられる。敷地擁壁および基礎の被害が無被害または亀裂程度であったものは5棟あったが、柱脚の移動量は5cm以内が専用住宅2棟、10cm以内が倉庫・納屋2棟、20cm以内が倉庫・納屋1棟となっており、移動量は比較的小さい。したがって、柱脚の滑りによる移動よりも、敷地擁壁や基礎の被害による強制変位の方が卓越していたと考えられる。また、上部構造の被害が小谷地区よりも大きい要因のひとつとも考えられる。

表5 石場建て伝統木造の柱脚の移動量

用途	柱脚の移動量[cm]								移動無し
	~5	~10	~15	~20	~25	~30	30+	記入無し	
専用住宅	2	0	1	1	1	1	0	0	7
倉庫・納屋	0	2	0	2	0	1	1	2	10
計	2	2	1	3	1	2	1	2	17

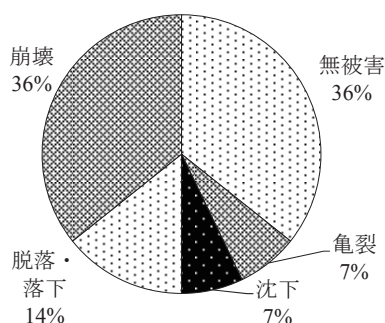


図22 柱脚移動があった建築物の敷地擁壁の被害

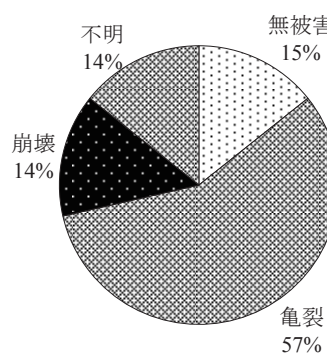


図23 柱脚移動があった建築物の基礎の被害

5. まとめ

対象地域の伝統木造建築物の多くは、専用住宅と倉庫・納屋に分類することができ、両者の被害傾向は異なっていた。倉庫・納屋の方が被害が大きく、建築年代が非常に古いものに大きな被害が見られた。専用住宅では、新しいものが少ないこともあり、被害程度は建築年代によらない結果となった。建築年代が非常に古いもので、伝統木造と在来木造を比較したところ、被害はほぼ同程度であった。

石場建てで水平移動を拘束していない伝統木造で柱脚の移動が見られた。同じ石場建ての伝統構法でも専用住宅と倉庫・納屋では、柱脚の移動量は異なり、倉庫・納屋の方が移動量が大きくなる傾向にあった。

敷地擁壁や基礎に崩壊などの大きな被害がある場合には、それに伴って柱脚も大きく移動しており、上部の建築物の被害も大きくなっている。敷地擁壁や基礎に大きな被害が無ければ、柱脚の移動量は、専用住宅では5cm以内、農小屋・納屋では20cm以内に収まっていた。

謝辞：本調査の実施にあたって、現地でのコーディネータとして藤本和想建築・藤本誠一氏にお世話頂いた。また、調査において木村工務店・木村紀晃氏、奈良女子大学生諸氏に多大なるご助力を頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) Mukaibo, K., Kawakami, T. and Suzuki, Y.: Experimental and Analytical Study on Seismic Behavior of Traditional Wooden Frames Considering Horizontal Diaphragm Deformation and Column Slippage, Proc. of the 14th World Conference on Earthquake Engineering (14WCEE), CD-ROM, Oct. 2008.
- 2) 山田耕司, 鈴木祥之, 向坊恭介, 須田達: 伝統構法木造の告示波に対する最大変位応答, 歴史都市防災論文集, Vol. 7, pp. 89-96, Jul. 2013.
- 3) 日本建築学会近畿支部木造部会: 平成28年(2016年)熊本地震による木造建築物の被害調査報告会資料集, 2016年8月.
- 4) 国土地理院、地理院地図、<http://www.gsi.go.jp/>

敷地環境と建物概要

建物名(表札等)		整理番号	
住所		調査者	
		調査日時 月 日	
		内容	
		応急危険度判定	
		[] 危険 [] 要注意 [] 安全(検査済) [] 不明	
項目			
区分	建物被害状況		
敷地環境	地形	[] 1 平坦地 [] 2 山地 [] 3 崖地(上) [] 4 崖地(下) [] 5 造成地(平坦地) [] 6 造成地(傾斜) [] 7 造成地(高台上) [] 8 造成地(高台下) [] 9 その他()	[] 1 無被害 [] 2 亀裂 [] 3 沈下 [] 4 傾斜 [] 5 噴砂 [] 6 地滑り [] 7 崩壊 [] 8 不明 [] 9 その他()
	地盤	[] 1 普通地盤 [] 2 埋立・軟弱地盤 [] 3 岩盤 [] 4 不明 [] 5 その他()	[] 1 無被害 [] 2 亀裂 [] 3 沈下 [] 4 脱落・落下 [] 5 崩壊 [] 6 その他 建物被害の感想等メモ
建物概況	海・池・河川	[] 1 なし [] 2 河川近く [] 3 池近く [] 4 用水路近く [] 5 海岸近く [] 6 その他()	[] 1 無被害 [] 2 亀裂 [] 3 沈下 [] 3 剥落 [] 4 傾斜 [] 4 傾斜 [] 5 転倒・崩壊 [] 6 不明 [] 7 その他()
	用途	[] 1 専用住宅 [] 2 店舗 [] 3 店舗併用住宅 [] 4 土蔵 [] 5 共用住宅 [] 6 長屋住宅 [] 7 倉庫・納屋 [] 8 車庫・ガレージ [] 9 不明 [] 10 その他()	[] 1 無被害 [] 2 軽微な被害 [] 3 一部損傷 [] 4 全体的損傷 [] 5 1階傾斜 [] 6 2階傾斜 [] 7 1階崩壊 [] 8 2階崩壊 [] 9 3階以上傾斜 [] 10 3階以上崩壊 [] 11 全体的傾斜 [] 12 全体的崩壊
増改築	建方	[] 1 戸建 [] 2 連続建 [] 3 不明 [] 4 その他() [] 1 伝統木造 [] 2 在来木造 [] 3 プレハブ [] 4 2×4 [] 5 RC造 [] 6 鉄骨造 [] 7 口不明 [] 8 その他()	[] 1 無被害 [] 2 一部蟻害 [] 3 一部蟻害 [] 4 蟻害 [] 4 一部断面欠損 [] 5 著しい断面欠損 [] 6 全面的被害 [] 7 倒壊危険性 [] 8 不明 [] 9 その他
	構造形式	[] 1 平屋 [] 2 総2階建て [] 3 部分2階建て [] 4 3階建て [] 5 4階以上 [] 6 不明 [] 7 その他()	[] 1 無被害 [] 2 一部蟻害 [] 3 一部腐食 [] 4 一部断面欠損 [] 5 著しい断面欠損 [] 6 全面的被害 [] 7 倒壊危険性 [] 8 不明 [] 9 その他
基礎仕様	築年数	[] 1 非常に古い(築35年以上、1981年以前) [] 2 古い(築15~35年、1981~2000年) [] 3 新しい(築15年以内、2000年~) [] 4 不明 [] 5 聞き取り() [] 1 なし [] 2 あり(主に:)	[] 1 無被害 [] 2 亀裂 [] 3 沈下 [] 4 少しい傾斜 [] 5 大きく傾斜 [] 6 崩壊
	増改築	[] 1 独立基礎(玉石) [] 2 独立基礎(切石) [] 3 ブロック・煉瓦 [] 4 コンクリート基礎 [] 5 べた基礎 [] 6 その他() [] 7 不明 [] 8 その他()	[] 1 無被害 [] 2 亀裂 [] 3 剥落・脱落 [] 4 大損傷 [] 5 移動(cm) [] 6 その他
柱脚仕様	[] 1 石場建(フリー) [] 2 石場建(固定) [] 3 在来(アンカー有 無) [] 4 不明 [] 5 その他()	[] 1 無被害 [] 2 亀裂 [] 3 剥落・脱落 [] 4 大損傷 [] 5 移動(cm) [] 6 その他	
外壁仕様	[] 1 土壁 [] 2 板貼 [] 3 鉄板貼 [] 4 モルタル [] 5 金属サイディング [] 6 窯業サイディング [] 7 不明 [] 8 その他()	[] 1 無被害 [] 2 亀裂 [] 3 剥落・脱落 [] 4 傾斜 [] 5 大損傷 [] 6 その他	
屋根仕様	[] 1 和瓦(土有り) [] 2 和瓦(土無し) [] 3 和瓦(土不明) [] 4 洋瓦 [] 5 セメント瓦 [] 6 金属瓦 [] 7 スレート葺 [] 8 不明 [] 9 その他()	[] 1 無被害 [] 2 棟瓦ずれ・落下 [] 3 瓦ずれ・落下 [] 4 全体的落下 [] 5 軒の損傷 [] 6 小屋組損傷 [] 7 小屋組崩壊 [] 8 不明 [] 9 その他	
耐力壁仕様	[] 1 土壁系 [] 2 板壁系 [] 3 筋かい系 [] 4 ポード等面材系 [] 5 不明 [] 6 その他()	[] 1 無被害 [] 2 亀裂 [] 3 剥落・脱落 [] 4 傾斜 [] 5 大損傷 [] 6 その他	

写真メモ

判定基準	軸組架構	屋根	外壁	基礎	判定
倒壊	層崩壊	—	—	—	[] 1 倒壊
大破	傾斜大一部崩壊	小屋組破損大	下地剥落	基礎崩壊	[] 2 大破
中破	傾斜中~小	屋根材ずれ・落下	仕上げ脱落	ひび割れ・ずれ	[] 3 中破
軽微	傾斜小	傾斜なし	亀裂・仕上げ剥落	亀裂	[] 4 軽微
無被害	傾斜なし	屋根材ずれ	軽微なひび割れ	—	[] 5 軽微
		外観上被害なし			[] 6 無被害

図1 診断シート