

<原著論文> 東日本大震災による真壁・佐原重要伝統的建造物群保存地区における 町家と土蔵の被害調査研究

著者	龍門 達夫
著者別名	Ryumon Tatsuo
雑誌名	世界遺産学研究
巻	1
ページ	40-59
発行年	2016-03-31
その他のタイトル	THE DAMAGE INVESTIGATION RESEARCH OF WOODEN TOWNHOUSES AND STOREHOUSES IN MAKABE AND SAWARA IMPORTANT PRESERVATION DISTRICTS FOR GROUPS OF TRADITIONAL BUILDINGS BY THE TOHOKU EARTHQUAKE
URL	http://doi.org/10.15068/00137493

東日本大震災による真壁・佐原重要伝統的建造物群保存地区における 町家と土蔵の被害調査研究

龍門達夫¹⁾

所属 1) 筑波大学大学院人間総合科学研究科世界文化遺産学専攻

THE DAMAGE INVESTIGATION RESEARCH OF WOODEN TOWNHOUSES AND
STOREHOUSES IN MAKABE AND SAWARA IMPORTANT PRESERVATION DISTRICTS
FOR GROUPS OF TRADITIONAL BUILDINGS BY THE TOHOKU EARTHQUAKE

Tatsuo RYUMON¹⁾

1) World Heritage Studies & World Cultural Heritage Studies, Graduate School of Comprehensive
Human Sciences, University of Tsukuba

和文要旨：本研究において、東日本大震災により重要伝統的建造物群保存地区真壁・佐原の町家や土蔵の被害が大きかった要因は、軟弱地盤の影響であったことを明らかにした。また佐原の保存修理工事についての分析を行った結果、町家の屋根をガイドライン工法、基礎をベタ基礎工法とすれば、震度5強程度までは、耐震補強が行われなくても損傷を防げる可能性が高いことを明らかにした。また本研究の成果を踏まえ、関東の土蔵の特徴を生かした屋根及び外壁の保存修理工法の試案を作成した。

キーワード：東日本大震災 重要伝統的建造物群保存地区 町家 土蔵 地震防災

In this research, major factor of townhouses and storehouses damages in Makabe and Sawara Important Preservation Districts for Groups of Traditional Buildings by the Tohoku Earthquake in 2011, revealed that it is the influence of the soft ground. In this research that analyzed preservation repair works in Sawara, the roof guidelines and flat concrete foundation were revealed to be effective method against seismic in townhouses. And also, I have created an attempt effective preservation repair method that is based on the feature of the storehouses of Kanto.

Keyword：The Tohoku Earthquake Important Reservation Districts for Groups of Traditional Buildings
wooden townhouses storehouses earthquake disaster prevention

1. 序論

1.1 研究の背景と目的

平成23年(2011)3月11日14時46分に発生した東北地方太平洋沖地震(以下東日本大震災と表記)とその後の余震により、関東の重要伝統的建造物群保存地区(以下重伝建地区と表記)では、茨城県桜川市真壁町地区(以下真壁と表記)と、千葉県香取市佐原地区(以下佐原と表記)において、町家や土蔵に瓦屋根が崩落する等多数の被害が発生した。

日本建築学会は重伝建地区の歴史的建造物の被害について建築歴史・意匠委員会災害特別調査研究WGにより地震後5月末まで調査を行い、成果は「2011年東北地方太平洋沖地震災害調査速報」¹⁾(以下学会調査と表示)及び「東日本大震災合同調査報告 建築編4 木造建築物 歴史的建造物の被害」²⁾(以下合同調査報告)として公表した。合同調査報告は、その中で真壁・佐原における重伝建地区全体の被害と主要な建物の被害についての概要が示され、復興への取り組みとその課題を中心に報告している。

重伝建地区が地震で被災したのは、平成7年(1995)の阪神・淡路大震災で被災した神戸市北野町山本通り地区(以下北野町と記す)と平成19年(2007)に能登半島地震で被災した輪島市黒島地区(以下黒島と記す※黒島は震災からの復興を契機に保存運動が高まり2009年に選定されている)の2地区の例だけである。

東日本大震災で被災した真壁及び佐原において、個々の町屋や土蔵の屋根や外壁・軸組の損傷程度やその分布状況を考察し、公表しておくことは貴重な資料となると考える。

また、佐原は関東で最も早く平成8年(1996)に重伝建地区に選定され、保存修理工事は全棟の約7割まで進んでいた。保存修理工事の内容により、被害に差も見られる。被害の差を明らかにし、有効な保存修理工事のありかたを考察することは今後の重伝建地区の地震防災を考えるうえで重要であると考え、本研究を行った。

1.2 既往研究と本研究の位置づけ

平成7年(1995)の阪神・淡路大震災で被災した北野町の被害についての調査研究は、加藤邦男編「阪神・淡路大震災と歴史的建造物」³⁾第2章第6節重要伝統的建造物群保存地区に詳しい。北野町の全ての建物についての被害調査記録のみならず保存地区の復旧事業計画についても詳述された貴重な記録である。本書の表3では総数36件の伝統的建造物の全てについての損傷記録が表記されているが、被害の分布図は示されていない。

黒島については、日本建築学会により建物被害の悉皆調査が実施され、「2007年能登半島地震災害調査報告」⁴⁾第5章5.2建造物の被害において図5.1.4-11輪島市門前町(黒島地区)がまとめられ、単色で建物の被災区分図が表示されている。

また輪島市教育委員会発行の「能登・黒島の町並みー輪島市黒島地区伝統的建造物群保存対策調査報告書」⁵⁾第I部概要編1-8黒島の地震被害の概要及び、第III部8-1災害史と防災の課題 図8-3「輪島市門前町(黒島地区)の建物被災度」において、被災度の区分が色分け表示されている為に被害の分布が判りやすく、本研究では参考とした。

これらのいずれの既往研究も個々の建物の被災区分は示されているが、屋根の損傷程度と外壁・軸組の損傷程度が明らかにされていない。本研究においては、屋根と外壁・軸組の損傷程度を個別に明らかにし、考察することとした。また北野町の既往研究においては、地震で被災後の復旧工事について報告されているが、保存修理工事の履歴と損傷についての考察は行われていない。また黒島は、地震からの復興を契機に重伝建地区に選定されている為に、保存修理工事の履歴を明らかにすることは出来ない。重伝建地区における保存修理工事の履歴をもとに、地震による損傷を考察した研究事例は無く、本研究は重伝建地区の地震防災を考えるうえで新たな視点となると考える。

林 康裕等による「2001年芸予地震における木造家屋被害の分析」⁶⁾は、愛媛県・広島県・山口県の25地点から、目視で、ブルーシートの数を求め、その被災度と計測震度・地盤の卓越振動数(固有振動数)・最大地動加速度・最大地動速度により広域簡易被害調査と比較分析を行っている。ブルーシートは震災で被災した後に速やかに屋根に設置されるために、被害程度を知る一つの判断基準となることを示しており、本研究では参考とした。

この中で屋根の被害は、計測震度と最大地動加速度に相関が見られ、瓦屋根被害が生じるのは、計測震度で5.0(震度階級5強)、最大地動加速度200gal、最大速度10cm/sであり、瓦屋根被害が5%以上となるのは、計測震度で5.5(震度階級6弱)以上、最大地動加速度400gal以上という結果を得ている。これらの被害率には建築基準法を基に建てられた戦後の木造住宅が含まれている為に、伝統工法の町家や土蔵の被害率については明確ではない。伝統工法の町家や土蔵に限って被害率を求めた研究の事例は少なく、本地震による被害率を求めることは貴重な資料となると考える。

2. 研究の方法

2.1 論文の構成

第3章は、真壁における伝統工法の町家や土蔵の屋根の被害率を既往研究の結果と比較考察し、建設年代別の屋根被害の損傷の差を考察した。さらに、佐原も含めた関東の土蔵の損傷について考察を行った。第4章は、佐原において震災以前までに行われていた保存修理工事の履歴の記録を基に、屋根葺替ー屋根破損、基礎工事ー軸組破損、土台・軸組工事ー軸組破損に分けて考察を行い、本地震において効果的であった保存修理工事の工法を明らかにした。



写真1 真壁 2011/3/29 の屋根損傷状況 (google earth pro)

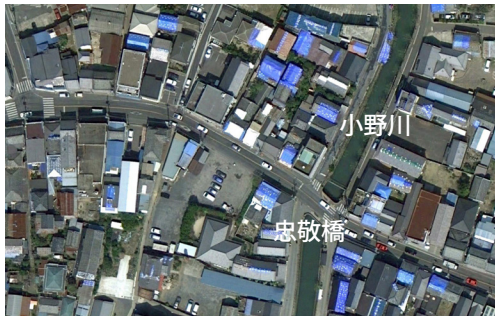


写真2 佐原 2011/3/29 の屋根損傷状況 (google earth pro)

※写真1・写真2のデータを利用しビニールシートの範囲を屋根損傷率として求め、屋根伏図に記入している

表1 損傷度区分表

損傷度区分表				
大屋根		大棟等	外壁・軸組	
無損傷		無損傷	無損傷	
軽微	損傷率5%未満	ズレ小	軽微	外壁部分亀裂・剥落
小破	5%以上～25%未満	ズレ大	小破	外壁大部分亀裂・剥落
中破	25%以上～50%未満	落下	中破	軸組変形1/120以下・軸組破損
大破	50%以上		大破	外壁剥落

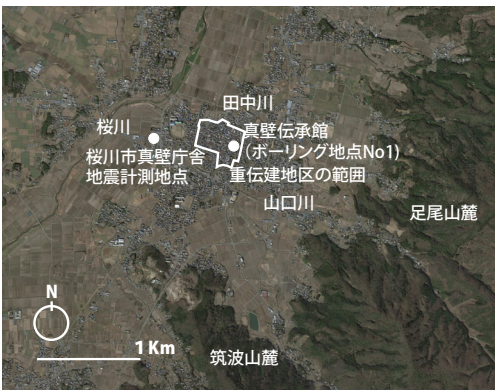


写真3 真壁の航空写真及び重伝建地区の範囲 (google earth)

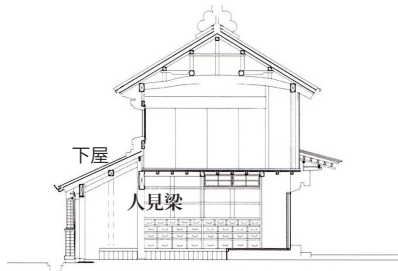


図1 関東の下屋を持つ町家 (出典：真壁の町並み⁷⁾)

2.2 調査の方法

真壁は、東日本大震災の後4月の連休前までに文化庁の要請で、金沢市や亀山市等の伝建地区担当職員の協力を得て被害調査が行われた。その調査結果は、桜川市教育委員会伝建担当により被害調査資料(未発表)として5月末にまとめられた。また引き続いて震災復旧工事の為に、茨城県建築士会を中心に建造物個別の被害調査資料(未発表)が9月末までに作成された。

佐原はNPO法人小野川と佐原の町並みを守る会を中心に、県指定文化財は、香取市教育委員生涯学習課文化財班、特定建築物は、香取市都市整備課事業推進班により地元建築士会の協力を得て、被害調査が4月末までにおこなわれ、9月末までに被害調査資料(未発表)が作成された。真壁・佐原いずれの資料も自治体の内部資料に留められ公表されていない。

本研究の被害調査の方法としては、2011年5月11日(真壁)、6月1日(佐原)、7月6日(真壁)、7月20日(佐原)と現地に入り、地上からの被災状況の目視と確認を行い、町屋と土蔵の被災状況を整理した。また本研究においては、2012年3月に前述した各自治体の未公表の被害調査資料や保存修理工事の履歴記録のデータの貸与を受け、損傷程度は著者独自の7月20日までの簡易被害調査と齟齬が出ないように、照合を行った。

著者が調査に入った時点では、既に屋根は、ビニールシートに覆われている建物が多く、また地上面からは屋根の被害程度の把握が困難な建物もあった為、2012年3月以降、2011年3月29日付けのGoogle Earth proから、ビニールシートが掛けられたものを抽出し、平面図のデータを参照して屋根伏図を起し、損傷範囲を記入した。ビニールシートの範囲は実際の損傷範囲と整合していない可能性もあるが、既往研究と同様損傷の一つの判断基準であると考え、損傷範囲とした[写真1、写真2参照]。

各自治体の被害調査資料は、屋根損傷は図面ではなくコメントで表記されているだけのために、著者が屋根伏図をもとに作成した資料を屋根損傷率とし、各自治体のコメントは損傷概要として両方を併記し、個別の損傷記録としてまとめ、各地区の保存計画図を基に屋根及び外壁・軸組の損傷分布図を作成した。真壁や佐原では石蔵やRC造の建物や、酒造工場、仏堂や門も特定建築物として選定されているが、本研究では他地区でも比較が容易な町家と土蔵を対象とした。屋根および外壁・軸組の損傷度区分は表1の区分のもとに行った。

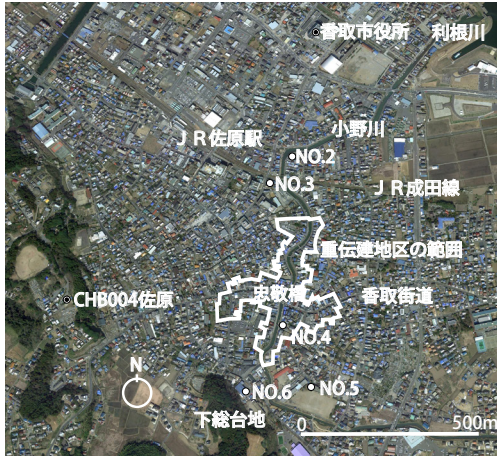


写真4 佐原の航空写真及び重伝建地区の範囲 (google earth)

表2 真壁・佐原の本震の震度・最大加速度・震央との距離

観測点	震度	計測震度	最大加速度 gal			震央との距離 km
			三成分合成	NS	EW	
真壁庁舎	6弱	*5.5	403.2	377	359.1	318.4
香取市役所	5強	*5.4	304.9	238.1	249.2	202.3
CHB004佐原	5強	*5.1	310.3	277	301	179

表3 真壁・佐原の地質調査資料

重伝建地区 ボーリング 地点	佐原					
	No1	No2	No3	No4	No5	No6
地盤の固有周期	0.841	0.868	0.69	0.647	0.385	0.297
標準貫入試験N値						
深度	25 50	25 50	25 50	25 50	25 50	25 50
0						
1	ローム					シルト
2	粘土	有機質シルト		中砂		
3						
4	砂質粘土		粘土混り細砂		砂混り中砂	
5						
6						
7	シルト質細砂					
8	細砂	微細砂				
9	砂質シルト					
10				細砂		
11					細砂	
12						
13	中砂					
14						
15	シルト質細砂	シルト質微細砂	シルト質細砂			
16						
17						
18						
19						
20	細砂	砂質シルト		細砂		
21						
22						
23						
24	シルト	シルト				
25			細砂			
26						
27						

2.3 調査地区の概要

真壁は、足尾山から筑波山に連なる山麓から緩やかに桜川に下る舌状の真壁台地に位置している[写真3参照]。真壁は江戸時代から明治中期にかけて近在の在郷町として発展し、現在の真壁の町並みは、大正から昭和にかけての町家や土蔵を中心に形成されている「参考資料⁷⁾」。

町家の1階は通りに面して耐震要素である土壁がほとんどなく、下屋を持ち、2階の壁の重量を人見梁と呼ばれる1尺以上の梁で支える形式[図1参照]であり、剛性的には好ましくない。この形式は明暦の大火(1657)以降江戸において、火災時に下屋から大屋根に梯子を掛けて町火消が登りやすいように義務づけられたもので、大火の多かった関東の町家に普及し、佐原も同様の形式である。

重伝建地区は、南北約410m、東西約410m、面積約17.6haの範囲で、特定されている伝統的建造物(以下特定建築物と記す)は108棟(石蔵1棟倒壊、土蔵2棟全壊で指定解除)で、そのうち本研究で対象とした町屋は54棟、土蔵19棟である。真壁は、平成22年(2010)4月16日に重伝建地区として選定されてすぐに東日本大震災にあった為、保存修理の為の整備事業はまだ実施されておらず、保存修理工事がなされていない中での被害の貴重な資料となる。

佐原は小野川流域の平坦な地形であるが、南から西にかけて下総台地が迫っており、東側は利根川沿いに田が広がっている[写真4参照]。江戸時代に入り、利根川の東遷事業が行われ、舟運が盛んとなり、物資の集散地として賑わいを見せ、商都として発展した。

重伝建地区は、南北約500m、東西約400m、面積約7.1haの範囲で、小野川沿いと香取街道沿いに範囲が指定されている。特定建築物は106棟で、ほかに国指定史跡(伊能忠敬旧宅・土蔵等)のほか、県指定文化財13棟を含んでいる「参考資料⁸⁾」。本研究で対象とした町家・土蔵は県指定文化財を含み、町家は75棟で、土蔵は26棟である。佐原は関東で最も早く平成8年(1996)に重伝建地区に選定され、東日本大震災前までに全棟の7割まで町家や土蔵の保存修理工事は進んでいた。

2.4 観測地点の計測震度及び最大加速度

真壁・佐原の地震観測地点の本震のデータを表2に示す。東日本大震災においては、本震から約30分後(15時15分)に大きな余震が発生し、真壁は震度5弱、佐原は震度5強を計測している。その後5月末までに真壁は震度4を7回、佐原

は震度 4 を 14 回計測している。6 月以降では震度 3 は多いが、木造建造物に損傷を与える震度 4 以上は計測されていない。

真壁は、桜川市真壁庁舎（重伝建地区までの距離 0.5km）のデータを気象庁発表資料⁹⁾から引用した。表 2 では、本震の計測震度は *5.5（気象庁震度階級 6 弱）、最大加速度は、400gal を超えている。NS と EW の加速度の差はほとんど無い。震央からの距離は 318.4km である。

佐原の地震観測点は 2 カ所 CHB004（強震観測網¹⁰⁾ 佐原 [香取市イ-1066（重伝建地区までの距離 0.8km）]、香取市役所（重伝建地区までの距離 0.8km）…[表 2・写真 4 参照] であり、いずれも震度 5 強、3 成分合成の最大加速度は 300gal を超えている。NS と EW の加速度の差に大きな差は見られない。

2.5 地質調査資料

地震動の強さは、最大加速度、最大速度などで表現されるが、固い地盤に対して、軟弱で堆積層が厚い地盤では、計測震度のランクや最大加速度が高くなる。つまり、堆積層の厚みの差により、大きく地震動が増幅し、被害が起きやすい。建設省告示 1793 号及び道路橋示方書（国土交通省技術基準）は地盤を以下の 3 つに分類している。それぞれ基準値は違うが、第Ⅲ種地盤を軟弱な地盤としている。

建設省告示 1793 号		道路橋示方書
第Ⅰ種地盤（洪積台地）	Tc 0.4	Tg < 0.2
第Ⅱ種地盤	Tc 0.6	0.2 ≤ Tg < 0.6
第Ⅲ種地盤（沖積層）	Tc 0.8	0.6 ≤ Tg
	Tc: 地盤の固有周期 (s)	Tg: 地盤の固有周期 (s)

真壁においては真壁伝承館のボーリングデータ¹¹⁾を参照した。写真 3 を見ると、真壁は、山口川と田中川に挟まれ、東から西に平坦で緩やかに傾斜している。ボーリングデータは 1 箇所しかないが、地盤が大きく変化していないので、地盤条件による地区内の変化はないと考える。佐原は、千葉県地質環境インフォメーションバンク¹²⁾を活用し、重伝建地区近傍の 5 か所（No2、No3、No4、No5、No6）の地質資料と標準貫入試験の N 値を入手した。表 3 に真壁と佐原 5 地点の地質の深度及び、標準貫入試験 N 値を示している。堆積層の厚みは地質調査資料より読み取り、簡易式（建設省告示第 1457 号第 10）で N 値と各地質の深さより、地盤の固有周期を求めた。

■各層の剪断波速度 $V_s=68.79 \times N 0.171 \times H 0.199 \times Y_g \times S_t$

N は標準貫入試験 N 値 / H は地表面からの深さ (m) / Y_g 地質年代係数 (沖積層 1.000、洪積層 1.303) / S_t は土質に応じた係数 (粘土 1.000、細砂 1.086、中砂 1.066、粗砂 1.135、砂礫 1.153、礫 1.448)

■各層 (i) の固有周期 $T_i=4 \times H_i/V_i$

■全体の表層地盤の固有周期 $T=\sum T_i$

真壁は、表 3 の No1 のボーリングデータで明らかのように、表土はローム層に覆われているが、下層は軟弱な砂質層が 27m 以深まで続いており、決して良好な地盤とはいえない。地盤の固有周期の計算結果は 0.841 秒と長く、沖積層と同様の値となっている。

佐原は、表 3 で明らかのように、5 地点とも堆積層の全てが砂質層で、下流域ほどその堆積層が厚く、No2 では、標準貫入試験 N 値の値が深度 25m 以深まで 2 ~ 4 となっており、その影響で液状化現象が発生し、小野川護岸の崩壊や川底のせり上がりが発生した。

各地点の地盤の固有周期の計算結果は表 3 の通りである。小野川上流左岸の No6 は 0.297 秒、No5 が 0.385 秒と固有周期が短く固い地盤であることを示している。忠敬橋付近の No4 は 0.647 秒、No3 は 0.69 秒、No2 は 0.868 秒となっている。以上から重伝建地区の小野川流域は 0.647 秒 ~ 0.69 秒前後の固有周期を持っていると考えられ、町家の固有周期と近い値を示している。建設省告示 1793 号と道路橋示方書では基準値が違うが、真壁 No1 は 0.841 秒であるのでどちらの指標でも第Ⅲ種地盤、重伝建地区内の小野川流域は 0.647 秒 ~ 0.69 秒なので道路橋示方書では第Ⅲ種地盤、建設省告示では、限りなく第Ⅲ種地盤に近いことになる。

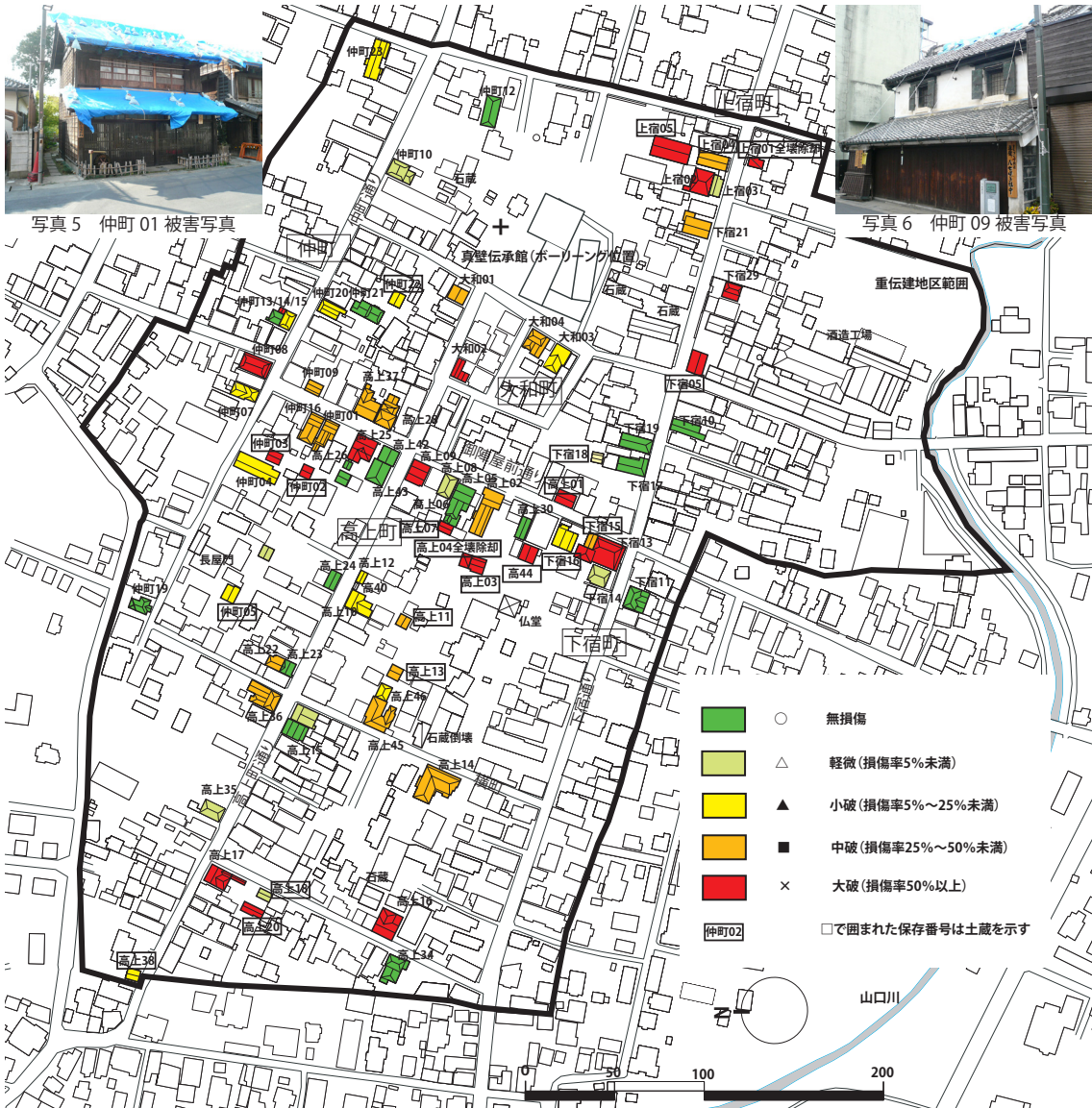


図2 真壁屋根損傷分布図〔町家・土蔵〕(出典：真壁保存地区計画図を基に編集)

外壁軸組損傷度区分	×大破	高上17 22%				
	■中破	高上15 高上42 下宿14 高上12 仲町04 仲町23 高上36 高上37 高上25 下宿13 仲町14 仲町19 高上35 仲町13 高上10 仲町01 高上14 高上16 上宿2 仲町16				
	▲小破	上宿03				
	△軽微	高上24 仲町21 高上23 高上22 下宿29 大和02 高上09	28%			
○無損傷	下宿11 下宿19 下宿17 下宿10 高上30 高上34 高上43 高上05 高上06 仲町12 高上08 仲町10 仲町20 高上48 大和03 仲町07 高上45 高上28 大和01 大和04 仲町08 仲町15					
		屋根損傷度区分				
		○無損傷	△軽微	▲小破	■中破	×大破

図3 真壁町家 屋根及び外壁・軸組損傷度相関図

外壁軸組損傷度区分	×大破	仲町05 下宿16 高上13 26%				
	■中破	下宿15 高上03 仲町03 仲町02				
	▲小破	高上38 上宿04 高上20				
	△軽微	下宿18 高上18 上宿05 高上01 高上07 下宿05				
○無損傷	仲町22 高上11 高上44					
		屋根損傷度区分				
		○無損傷	△軽微	▲小破	■中破	×大破

図4 真壁土蔵 屋根及び外壁・軸組損傷度相関図

※点線で囲まれた範囲は屋根及び外壁・軸組それぞれの損傷度が軽微以内か中破以上を示している。数字はそれらの範囲の全棟に対する割合を示している
保存番号の色分けは赤は江戸/明治時代、緑は大正時代、青は昭和時代、黒は年代不明を示している



3 真壁 調査結果

本章において真壁の町家 54 棟、土蔵 19 棟の調査結果及びその考察をまとめている。図 2 は屋根損傷分布図を示し、図 5 は外壁・軸組の損傷分布図を示している。図 3 及び図 4 は屋根損傷度区分と外壁・軸組の損傷度区分の相関をマトリックス図で表示したもので、点線内の数字はそれぞれの損傷度が軽微な範囲内にある建物の割合と、中破以上の割合を示したものである。時代別の損傷の違いを見る為に、色分けで保存番号の建物を示している。町家は約 28% (12 棟)、土蔵は約 11% (1 棟) が軽微な損傷内である。町家は無損傷が 10 棟であるが、土蔵には 1 棟も無い。中破以上が町家は 22% (12 棟)、土蔵は 26% (5 棟) になっている。町家は 1 棟が屋根及び外壁・軸組を大破している。次項からは、屋根及び外壁・軸組に分けて損傷度の結果をまとめている。個別の町家の損傷記録は表 4-1 ~ 4-3 に、土蔵は表 6-1、6-2 にまとめている。屋根伏図の網掛け部分はビニールシートで覆われている部分を示し、その部分を屋根の投影面積から除して損傷率としている。

3.1 屋根損傷

図 3 を参照すると、町家では、中破・大破の建物は、御陣屋前通りを中心とした地区に集中している。この地区は特定建築物が多く集中している地区でもある。

表 4-1 町家個別損傷記録 (屋根伏図網掛けは損傷部分)

保存番号	登録文化財	建築年代	屋根損傷			外壁損傷	損傷概要
			屋根伏図	大屋根	大棟等		
仲町09	○	明治1年		■	■	■	大棟・大屋根破損大登り梁外れ
高上02	○	明治1年		■	■	■	店部分の屋根無損傷。住宅部分の屋根ズレ発生北、東、南土壁破損・亀裂大柱北へ傾斜、内部梁脱落
仲町04		明治6年		▲	△	■	大屋根部分破損軸部ゆがみ、1階北土台、根太、床板腐食
高上36		明治8年		■	■	■	大棟及び大屋根破損、瓦を落下、出入り口サッシ中間沈下、庇軸組破損
高上24		明治10年		○	○	△	
下宿11		明治15年		○	○	○	
仲町21		明治16年		○	○	△	
仲町08		明治16年		×	■	○	大棟・大屋根全体にズレ
下宿19		明治23年		○	○	○	
下宿17	○	明治24年		○	○	○	
高上17	○	明治24年		×	×	×	高19付属屋は半壊状態、大棟落下・大屋根全体にズレ
高上37		明治33年		■	■	■	大屋根部分破損北側水切落下、前面庇裏落下
仲町23		明治35年		▲	○	■	大屋根部分破損、野地腐朽にゆがみ(腐食もあり)
高上25		明治44年		×	■	■	大棟・大屋根ズレ軸組老朽化
下宿13	○	大正1年		×	×	■	大屋根全破損、鬼瓦落下、庇屋根破損土間部北側傾斜、正面北隅柱蟻害
下宿14	○	大正1年		△	△	■	北西隅柱沈下
高上12	○	大正2年		△	○	■	西へ傾斜
高上10		大正初期		▲	△	■	一部電柱ぶつかり破損軸部傾斜

表 4-2 町家個別損傷記録 (屋根伏図網掛けは損傷部分)

保存番号	登録文化財	建築年代	屋根損傷			外壁損傷	損傷概要
			屋根伏図	大屋根	大棟等		
仲町20		大正7年		▲	×	○	大屋根部分破損、鬼瓦落下
仲町01		大正7年		■	■	■	下屋及び大屋根破損大1階奥広縁隅柱傾斜、2階床不陸、柱破損
高上15		大正8年		○	○	■	軸組全体が西側に傾斜し、両妻部が中央に比べ沈下
高上16		大正9年		×	■	■	大棟破損・大屋根破損ズレ大前面パラペット傾斜
上宿03	○	大正中期		△	○	▲	上宿2取り合い部クラック
下宿10		大正14年		○	○	○	
高上30		大正14年		○	○	○	
高上14	○	大正14年		■	■	■	大屋根・隅棟破損、煙出し周辺破損土壁落下
高上45	○	大正14年		■	■	○	大棟隅棟破損・大屋根ズレ大
高上46	○	大正13年		▲	■	○	隅棟破損
高上34		昭和1年		○	○	○	
高上08		昭和1年		△	○	○	
高上42	○	昭和2年		○	○	■	北西隅樋からの漏水により主要構造部蟻害により腐朽多数
高上43		昭和2年		○	○	○	
高上35		昭和2年		△	○	■	南面の柱傾斜
下宿29	○	昭和2年		×	■	△	東西屋根破損
高上28		昭和3年		■	■	○	店舗部分は大棟破損、住宅部分は大屋根部分全体にズレ

表 4-3 町家個別損傷記録 (屋根伏図網掛けは損傷部分)

保存番号	登録文化財	建築年代	屋根損傷			外壁損傷	損傷概要
			屋根伏図	大屋根	大棟等		
高上 22	○	昭和 3年		■	■	△	大棟から屋根全体にズレ
高上 23		昭和 3年		○	○	△	
上宿 02	○	昭和 4年		×	■	■	軸組傾斜
大和 01		昭和 7年		■	×	○	大棟落下、瓦ズレ
大和 04		昭和 7年		■	■	○	店舗分大屋根大部分ズレ
大和 03		昭和 7年		▲	△	○	瓦部分ずれ
高上 05		昭和 11年		○	○	○	
高上 06		昭和 2年		○	○	○	
大和 02		昭和 11年		×	■	△	屋根全体破損
仲町 10		昭和 12年		△	○	○	
仲町 07		昭和 27年		▲	△	○	隅棟破損
下宿 21		昭和 28年		■	■	○	大棟及び屋根全体にズレ
仲町 13		昭和 30年		△	○	■	軸組南に傾斜
仲町 14		昭和 1年		○	○	■	軸組北に傾斜
仲町 15		昭和 1年		×	○	○	瓦ずれ
高上 09		不明		×	■	△	屋根全体にズレ
仲町 16		不明		■	■	■	大棟・隅棟・大屋根破損柱ズレ
仲町 12		不明		○	○	○	
仲町 19		不明		○	○	■	軸組西に傾斜(土台の腐食あり)

表 5 屋根損傷年代別比較表

	年代	棟数	大屋根					損傷率%
			無損傷	軽微	小破	中破	大破	
町家	明治	14	○	△	▲	■	×	64
	大正	14	3	3	3	3	2	79
	昭和	22	7	4	2	5	4	68
	不明	4	2	0	0	1	1	50
	合計	54	17	7	7	13	10	69
土蔵	明治	12	0	3	2	2	5	100
	大正	6	0	0	1	2	3	100
	不明	1	0	0	0	0	1	100
合計	19	0	3	3	4	9	100	

また東西の通りが3、南北の通りが5あり、町家は南北の通りと東西の通りに面して建てられている。南北方向の通りに被害が多い。これは南北方向の通りに店を構えている町家が多い為で、2.2- 調査地区の概要 - で示したように、間口方向に耐震要素がないことや剛性の低い建物の形式が被害を大きくしたものと考えられる。

表5で年代別に損傷率を比較すると、町家全体の大屋根の損傷率は約69%となっている。各年代別においても概ね64~79%となっており、時代による大屋根の損傷率の差は大きくはない。ただし、大屋根は明治・大正時代の建物は瓦の落下した建物が多いが、昭和以降の建物は落下したものは無く、瓦のズレ程度で済んでいる。

角地に面している建物が3棟(下宿13、高上9、仲町8)大破している。いずれも道路側両方向に耐震要素である土壁が無く偏心し屋根に被害を出したと思われる。

表5で土蔵を時代別に区分したが全ての時代の土蔵に損傷があるので比較は出来ない。上1と高4は全壊し既に除却されているので比較からは除いている。大屋根の損傷率は、100%、棟の破損も約84%以上の土蔵が破損したことになり、町家と比較して約30%損傷率が高い。

土蔵の損傷率が町家より高い理由として、全ての土蔵に対して内部調査が行われていないものの、一部内部調査が行われた市の被害調査資料では、土台の腐朽や蟻害の発生している土蔵が4棟あったことから、土蔵の多くに土台の腐朽や蟻害があったためと推察される。土台が腐朽すると建物の固有周期が長周期になり、軟弱地盤で被害が多くなる(3.3.3土蔵の損傷で詳述)。

3.2 外壁・軸組損傷

表7において町家の外壁・軸組の損傷率は約57%となっており、屋根被害率69%と比べると損傷率は小さく損傷度も大きくない。図3を

表 6-1 土蔵個別損傷記録 (屋根伏図網掛けは損傷部分)

保存番号	登録文化財	建築年代	屋根損傷			外壁損傷	損傷概要
			屋根伏図	大屋根	大棟等		
高上03		明治1年	高上04 高上03	×	×	■	大棟落下による瓦破損、漆喰クラック、ハチマキ一部剥落、内部東面貫にクラック、一部南面貫部分も1階床が落ちている(蟻害?)
仲町03	○	明治1年		×	×	■	大棟落下瓦ズレ、東西壁亀裂、南壁剥離、軸部東に傾斜
高上38	○	明治1年		△	△	▲	東面亀裂大、下見板破損
上宿05		明治4年		×	■	△	屋根全体にズレ
高上11		明治6年		■	■	○	大棟部分ズレ、下屋破損
下宿18	○	明治10年		△	○	△	
高上01	○	明治11年		×	×	△	屋根瓦、棟の崩落
高上20		明治12年		×	×	▲	棟・鬼瓦落下、大屋根破損、全面上塗り剥落、大きな亀裂多数
高上18	○	明治24年		△	○	△	
仲町22		明治26年		▲	×	○	大棟の崩落
下宿15	○	明治35年	下15 下13	■	×	■	大屋根破損、瓦落下、東面下地から剥離、各面亀裂、軸組傾斜
仲町05	○	明治40年		▲	■	×	大棟瓦ズレ、外壁落下

表 6-2 土蔵個別損傷記録 (屋根伏図網掛けは損傷部分)

保存番号	登録文化財	建築年代	屋根損傷			外壁損傷	損傷概要
			屋根伏図	大屋根	大棟等		
下宿16	○	大正1年		▲	○	×	大屋根部分ズレ、北面小舞下地破損、東妻面土壁落下、下屋破損、腐朽、北面土台腐朽により沈下
高上07		大正3年		×	×	△	大屋根破損、大棟、鬼瓦落下
上宿04	○	大正7年		■	■	▲	大屋根・庇破損、棟ズレ、南面壁から軒先ハチマキに至る土壁多くが剥落、クラック
仲町02		大正7年		×	×	■	大棟落下、瓦ズレ、庇のし瓦垂下、南面ナマコ壁落下、下屋東に傾倒
高上13	○	大正9年		■	×	×	大棟落下、南・西土壁落下
下宿05		大正14年		×	■	△	大屋根瓦全体破損
高上44		不明		×	■	○	大棟の破損・屋根瓦の滑落

表 7 外壁・軸組損傷年代別比較表

	棟数	無損傷		軽微		小破		軸組変形		大破		損傷率%
		○	△	▲	■	×	×					
町家	明治	14	4	2	0	7	1	71				
	大正	14	5	0	1	8	0	64				
	昭和	22	13	4	0	5	0	41				
	不明	4	1	1	0	2	0	75				
	合計	54	23	7	1	22	1	57				
土蔵	明治	12	2	4	2	3	1	83				
	大正	6	0	2	1	1	2	100				
	昭和	0	0	0	0	0	0	0				
	不明	1	1	0	0	0	0	0				
合計	19	3	6	3	4	3	84					

見ると、外壁・軸組損傷が無損傷と中破に多く分布しているのが判る。中波以上の建物が23棟(約43%)ある。しかし、その被害の範囲は広いが、土壁のヒビワレや一部剥落程度であり、落下は少なく大破とはなっていない。明治・大正期と比較して昭和期は軸組変形や大破した建物は2割から3割ほど少なくなっている。経年劣化の差と考えるとよい。土蔵の外壁・軸組損傷率は84%と多くの土蔵に被害が起きたことになる。2棟も全壊し、すでに取り壊されている。図4を見れば、中破以上の建物が7棟(約37%)ある。損傷の多くが、変形の起きやすい隅角部や、下屋との取付部分や開口部周り等に起きている。また関東の土蔵の特徴である鉢巻の被害も多い。

3.3 考察

3.3.1 地盤の影響による屋根損傷率

ボーリング資料より固有周期を求めた結果、真壁は第Ⅲ種地盤の軟弱地盤であった。本震で真壁は震度6弱(計測震度*5.5)最大加速度が403galを計測した。屋根損傷率は、

真壁の町家が約 69%、土蔵は 100% という損傷率であった。外壁・軸組損傷率は屋根と比較して少ないが、町家で約 57%、土蔵で約 84% と高く、これらの損傷率は、軟弱地盤の影響と考えるが、非常に高い損傷率である。

3.3.2 建設年代と屋根損傷

真壁の町家は特定建築物の建設年代が昭和期以降に建設されたものが多い。駒井鋼之介著「かわら日本史¹³⁾」によれば、関東では関東大震災以降引掛け瓦葺工法が内務省の指導により瓦業界に普及している。これは、関東大震災で多くの瓦屋根が崩落した為に、震災直後の大正 13 年 (1924) に内務省が「市街地建築物法施工規則」を改正して、引掛け瓦葺工法の使用を奨励し、瓦業界に普及させたことによる。関東では標準的な工法となっていたことが瓦業界の「瓦工事の変遷¹⁴⁾」でも示されている。年代別の損傷比較を行った結果、大屋根は明治・大正時代の建物は瓦の落下した建物が多いが、昭和以降の建物は落下したものは無く、瓦のズレで済んでいた。建築基準法以前の引掛け瓦葺工法は、ズレは防げないが、落下を防ぐ効果は認められた。

3.3.3 土蔵の損傷

本項では真壁の土蔵の損傷について考察するが、佐原も含めた関東の土蔵の一般的な特徴をもとに考察する。一般的に固有周期が 0.2 秒前後の土蔵は固有周期の短い第 I 種地盤 (洪積台地) において被害が大きく、固有周期が 0.5 秒前後の伝統工法の町家は固有周期の長い第 II 種地盤や第 III 種地盤 (沖積層) で被害が大きくなるとされる¹⁵⁾ が、真壁の地盤の固有周期は 0.841 秒と長いのに逆の結果となっている。屋根の被害だけで考えれば、土蔵の葺土は町家 (60mm 程度) より塗厚が多い (150mm ~ 240mm 程度) [図 6 参照] ことにより慣性力が大きく働き、ズレや落下が発生したこと。またズレ止めに設けられた土居塗のシュロ縄が切れ、土居塗の土がずり落ちたことが要因と考えられる。

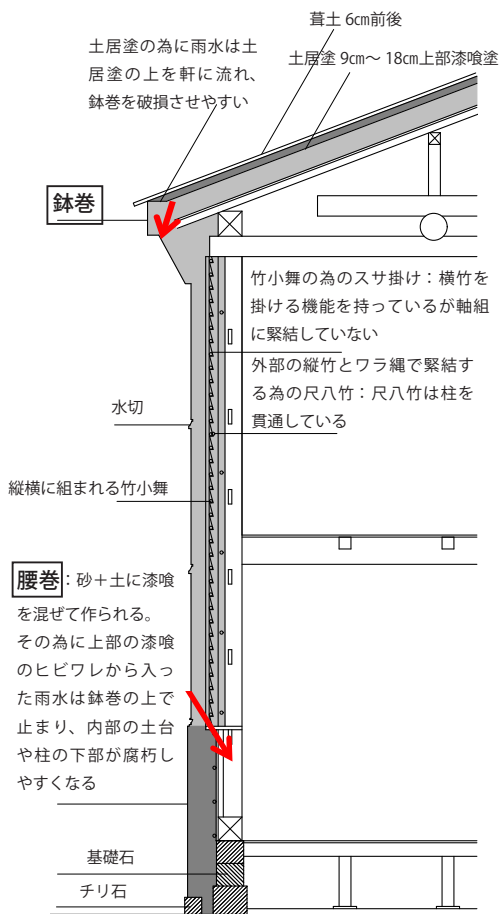


図 6 関東の一般的な土蔵断面図

鉢巻の被害については次の要因が考えられる。関西系の土蔵は軒下に垂木が表れているが、大火の多い関東では延焼防止の為に、垂木や軒下を土壁で塗籠る。この軒先を鉢巻と呼ぶが、屋根は瓦の土葺き (60mm) の下に防水の為に漆喰で塗られた土居塗 (90mm ~ 180mm) があり、浸み込んだ雨水が土居塗の上を流れ、軒先にある鉢巻を腐朽させ、地震により鉢巻の土壁が落下したと考えられる。また関東の土蔵は、防火のために、腰巻という土壁が塗られる。腰巻には防水の為に漆喰を混ぜた土で塗られるために、上部の土壁のヒビワレから侵入した雨水が腰巻で止水され、内部の土台や柱の根元を腐朽させる [図 6 参照]。また床下換気口を防火のために設けないために、地面に漆喰を塗布しているが、漆喰が経年劣化し、地面からの湿気を防止できず、土蔵の土台や軸組が腐朽する。長周期になった要因は腰巻と換気口を設けない影響と考えられる。

土塗壁の脆弱性について「土蔵の土壁は厚いが、耐震要素として効果のある土壁部分は厚みの 1/3 程 (約 8cm) で、残りの 2/3 (約 16cm) は軸組の架構の外側にあり、ひび割れを防ぐ為の竹小舞のみで、外部の土壁は、地震動による軸組の変形による損傷が起きやすい。」と坂本 功¹⁶⁾ は述べている。軸組の外側にある土壁は、地震によるわずかの層間の変形で外壁の損傷が発生し、損傷が起きやすい。この土壁の脆弱性が外壁に損傷が多い原因である。

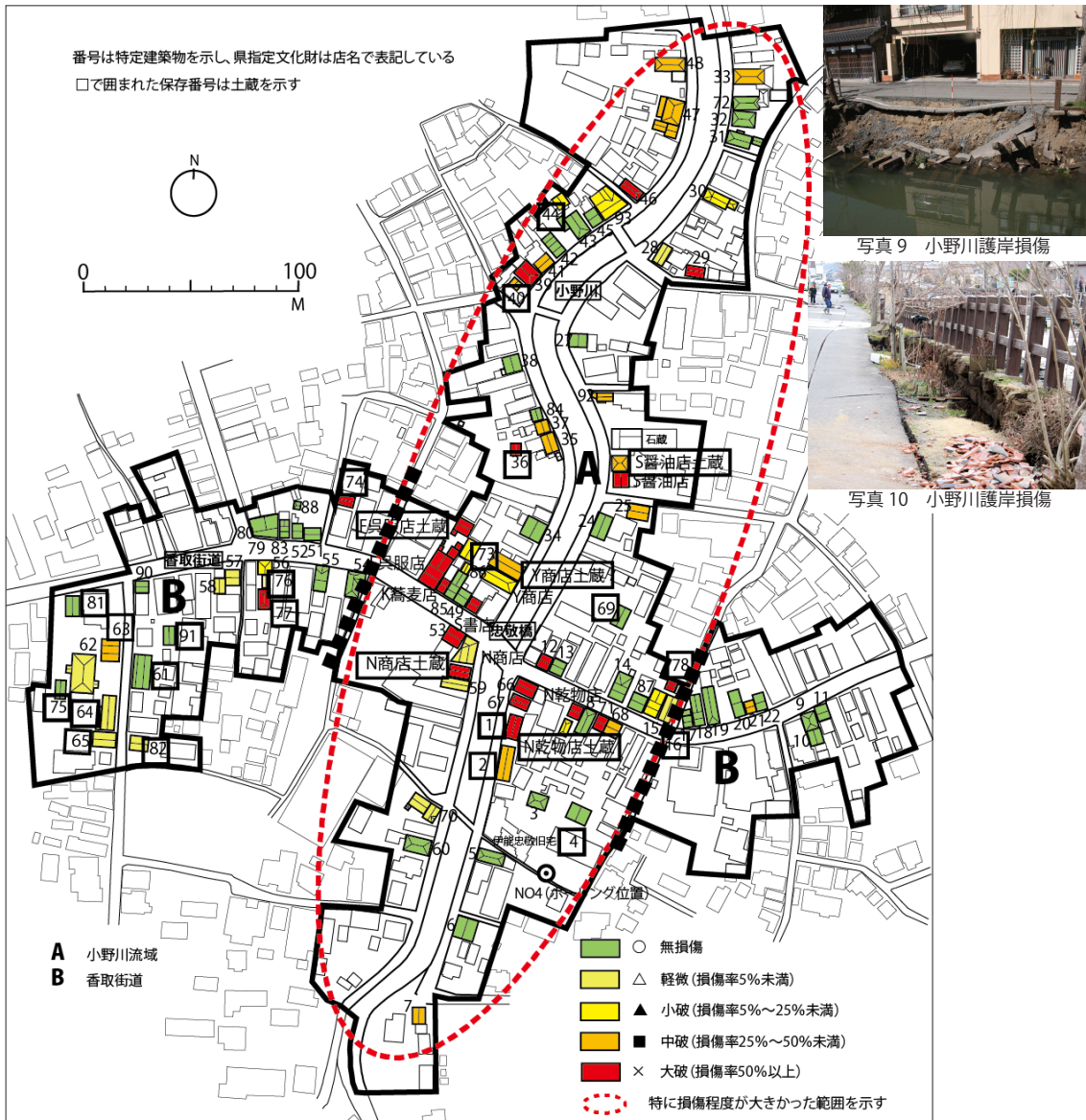


図7 佐原屋根損傷分布図〔町家・土蔵〕(出典：佐原保存地区計画図を基に編集)

外壁軸組損傷度区分	×大破			33	16%		
	■中破	27*31*7 34 38 45 20	62	7 92 35 37 41 47 48		県S醤油店 県K蕎麦店 39 46	
	▲小破					県N乾物店	
	△軽微	87 24 52%	県Y商店 57	58	15 30	68 25	12 29 71 県F呉服店 県S書店 39 46
○無損傷	6 5 3 60 13 14 32 38 49 44 42 4 11 9 10 22 19 18 17 33 *51 *52 83 79 80 54 55 30	70 59 県N商店 28 56	93	88 21	67 66 53		
屋根損傷度区分							
○無損傷 △軽微 ▲小破 ■中破 ×大破							

図8 佐原町家 屋根及び外壁・軸組損傷度相関図

外壁軸組損傷度区分	×大破			64	15%	40	県F呉服店 36 77
	■中破					73	
	▲小破	75					県S醤油店 県Y商店
	△軽微	4	16 76 82 65	35%	44	2	1 県N商店 78 74
○無損傷	69 91 61 81					63	
屋根損傷度区分							
○無損傷 △軽微 ▲小破 ■中破 ×大破							

図9 佐原土蔵 屋根及び外壁・軸組損傷度相関図

※点線で囲まれた範囲は屋根及び外壁・軸組それぞれの損傷度が軽微以内か中破以上かを示す 数字はそれらの範囲の全棟に対する割合を示す
□で囲まれた建物は保存修理工事履歴無、○はガイドライン工法、*はベタ基礎、保存番号の色分けは赤は小野川流域、青は香取街道を示す

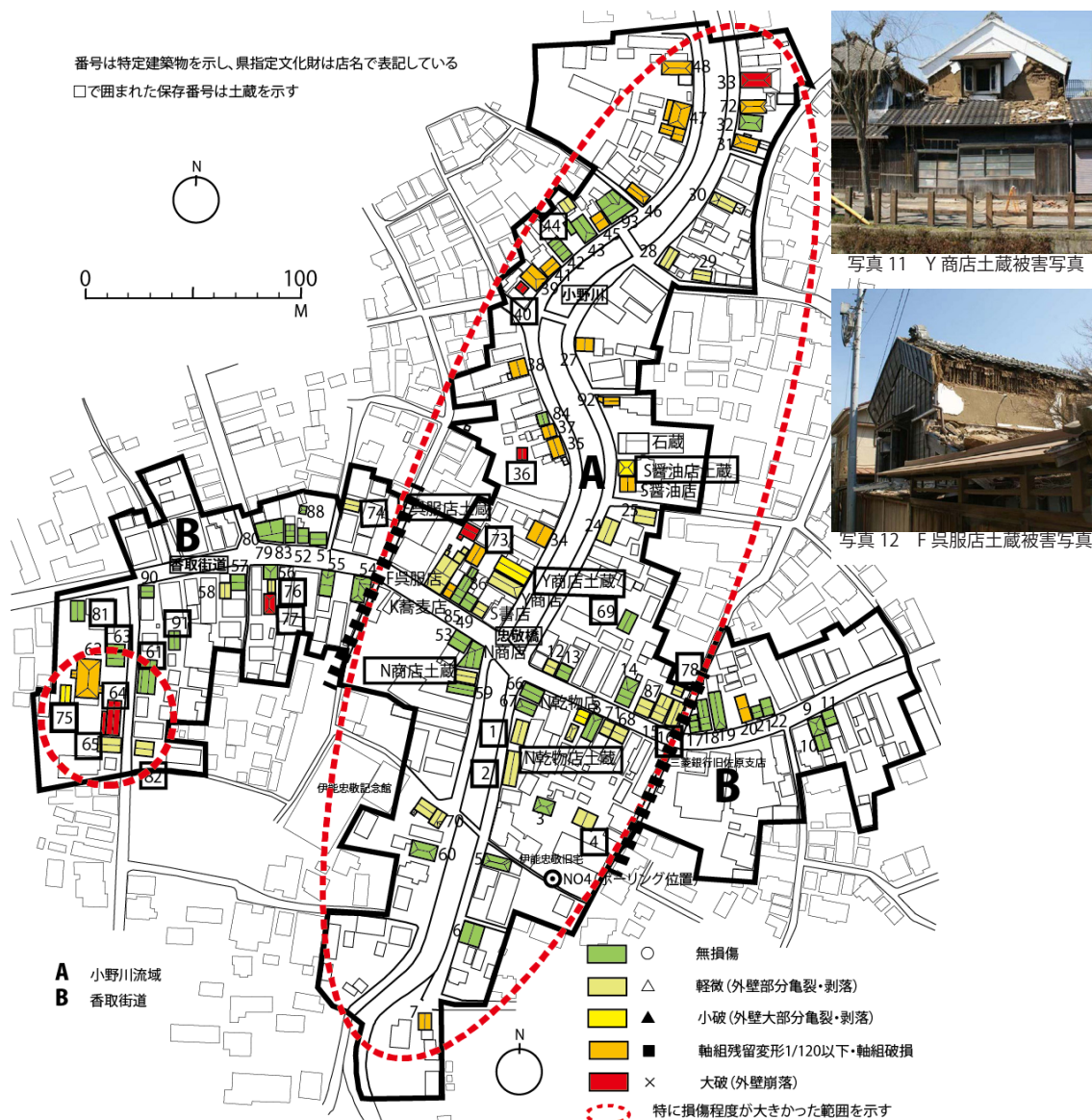


図 10 佐原外壁・軸組損傷分布図 [町家・土蔵] (出典：佐原保存地区計画図を基に編集)

4 佐原調査結果

本章において佐原の町家 75 棟、土蔵 26 棟の調査結果及びその考察をまとめている。佐原は小野川流域と香取街道沿いに十字型で選定されている為に、小野川流域 (A) と、香取街道 (B) の 2 つの地区に分類した。図 7 は屋根損傷分布図を示し、図 10 は外壁・軸組の損傷分布図を示している。図 8 及び図 9 は屋根損傷度区分と外壁・軸組の損傷度区分の相関をマトリックス図で示したもので、点線内の数字は真壁と同様にそれぞれの損傷度が軽微な範囲内にある建物の割合と、中破以上の割合を示したものである。個々の建物は、小野川流域 (A) を赤字、香取街道 (B) を青字で表記している。保存修理工事の有無を示すために、保存修理工事の履歴のない建物は□で囲んでいる。町家は約 52% (39 棟)、土蔵は約 35% (9 棟) が軽微な損傷範囲内である。保存修理工事の履歴のない建物で軽微な損傷内の建物は町家で 5 棟、土蔵で 1 棟あるが、修理履歴不明の県指定文化財 2 棟を除き香取街道 (B) にある。町家では無損傷が 29 棟あり、土蔵は 4 棟である。中破以上が町家は 16% (12 棟)、土蔵は 15% (4 棟) になっている。保存修理工事の履歴のある建物も町家で 6 棟、土蔵で 3 棟ある。次項からは、屋根及び外壁・軸組、保存修理工事に分けて損傷度の結果をまとめている。個別の町家の損傷記録は表 8-1 ~ 8-3 に、土蔵は表 13 にまとめている。屋根伏図の網掛け部分の表記は真壁と同様である。

表 8-1 町家個別損傷記録 (屋根伏図網掛けは損傷部分)

地区	保存番号	建築年代	屋根損傷			外壁損傷	備考	保存修理工事			
			屋根伏図	大屋根	大棟			年度	屋根葺替	基礎	土台軸組等
A	7	昭和前期		■	■	■	軒先屋根崩れ 外壁腐朽				
	6	明治後期		○	○	○		6	全面葺替		
	5	不明		○	○	○		10	全面葺替	部分修理	土台修理
	3	不明		○	○	○		14	全面葺替		
	67	明治後期		x	x	○	屋根一部崩落	12	全面葺替	土間コン	土台取替
	66	明治後期		x	■	○	全体的に平瓦のズレ	12 13	全面葺替	土間コン	土台取替
	県N乾物店	明治25年		x	■	▲	下屋部の両脇にも亀裂と傾き	9 10 11	影森の漆喰修理		小上がり部分修理
	8	明治後期		○	○	○		21	ガイドライン	ベタ基礎	木造剛節フレームで補強
	71	明治後期		x	x	△	瓦全面崩落	13 14 16	全面葺替		土台修理
	68	明治後期		■	x	△	棟瓦落下・平瓦も全体にズレ	13 14	部分修理 下屋復元		土台柱腐朽部分取替
	60	大正		○	○	○		9			部分修理
	70	昭和2年		△	△	○		11			土台柱取替
	59	江戸		△	○	○		7 11	部分修理		
	県N商店	安政2年		△	○	○					
	53	明治7年		x	■	○	屋根損傷	14			*下見板張替
	12	明治後期		x	x	△	屋根瓦崩落に伴い下屋庇、看板破損	18	軒先復元		
	13	明治後期		○	○	○		21	ガイドライン	ベタ基礎	腐朽部材取替 構造補強
	14	明治後期		○	○	○		7	全面葺替		
	87	明治前期		○	○	△		18	下屋復元 部分修理		
	15	明治後期		▲	x	△	屋根の棟瓦一部落下、全体的に平瓦のズレ	9	全面葺替		
24	明治34年		○	○	△		15		布基礎	土台取替	
25	江戸後期		■	x	△	屋根崩落、瓦全面的にズレ					
県S醤油店	江戸末期		x	x	■	大棟落下 屋根瓦・下屋庇の大部分が落下 躯体に歪	5 8・9 13 14 20	影森の漆喰修理	部分修理	土台交換・ 2階床梁交換	
92	昭和30年		■	x	■	屋根瓦崩落 地盤の側方移動に(河川側へ)に伴う基礎の損傷及び構造体の歪	20	下屋葺替		腐朽土台・柱交換	
27	明治前期		○	○	■	躯体の歪、下屋のズレ、地盤の流動に起因					

表 8-2 町家個別損傷記録 (屋根伏図網掛けは損傷部分)

地区	保存番号	建築年代	屋根損傷			外壁損傷	備考	保存修理工事			
			屋根伏図	大屋根	大棟			年度	屋根葺替	基礎	土台・軸組等
A	28	江戸		△	x	○		10	全面葺替		土台・柱修理
	29	江戸		x	■	△	棟損傷、平部分一部落下				
	30	明治後期		▲	■	△	棟瓦破損				
	31	昭和前期		○	○	■	地盤の側方流動(河川側へ)に伴う基礎の損傷と構造体の歪	18			ベタ基礎(下屋部無) 腐朽部材取替
	32	昭和前期		○	○	○		15	ガイドライン	布基礎	
	72	明治前期		○	○	■	地盤の側方流動に伴う基礎及び構造体の損傷	17	ガイドライン	ベタ基礎(下屋部無)	
	33	大正		■	x	x	棟崩れ、屋根大きく傾斜は崩落箇所が多数見られる。(壁腐朽)				
	県F呉服店	明治25年		x	x	△	屋根の大棟・屋根瓦・下屋瓦の大部分が崩落	6 7 22	部分修理		一部半解体修理
	県K蕎麦店	明治23年		x	x	■	棟や屋根及び下屋の瓦全面落下 躯体に歪				
	85	明治後期		○	○	○		17	ガイドライン	ベタ基礎	小屋組修理
	86	不明		■	x	○	屋根崩落				
	49	明治後期		○	○	○		15	ガイドライン		軸組修理
	県S書店	明治13年		x	x	△	大棟落下、屋根瓦全体に破損、下屋庇瓦崩落	12 18	部分修理		
	県Y商店	明治28年		△	○	△					
	34	明治前期		○	○	■	地盤の側方流動(河川側へ)に伴う基礎の損傷と構造体の歪	9			下屋復元 部分修理
	35	明治後期		■	x	■	棟瓦落下 北側及び西側柱不同沈下	8			*外壁・開口部修理
	37	明治後期		■	■	■	屋根破損 雨漏りから野地板、構造材腐朽	7	全面葺替		
	84	大正		○	○	○		16	ガイドライン		
	38	明治後期		○	○	■	不同沈下	7	全面葺替		
	39	明治前期		x	■	■	屋根損傷				
41	明治後期		■	x	■	棟瓦崩落 躯体傾斜					
42	明治前期		○	○	○		12	全面葺替		軸組・柱取替	
43	明治5年		○	○	○		6 16	ガイドライン			
45	大正		○	○	■	基礎石破損、柱が基礎石を踏み外した?	10	全面葺替			
93	明治後期		▲	○	○	大屋根一部破損	20			鉄骨でフレーム補強	

※個別損傷記録の地区別表記は小野川流域をA、香取街道をBとしている

表 8-3 町家個別損傷記録 (屋根伏図網掛けは損傷部分)

地区	保存番号	建築年代	屋根伏図	大屋根	大棟	外壁損傷	備考	保存修理工事			
								年度	屋根葺替	基礎	土台・軸組等
A	46	明治後期		×	×	■	屋根瓦全面崩落、地盤の側方流動(河川側へ)に伴う基礎の損傷及び構造体の歪				
	47	明治後期		■	■	■	屋根破損、地盤の側方流動(河川側へ)に伴う基礎の損傷及び構造体の歪	11	下層葺替		柱・桁修理
	48	明治前期		■	×	■	屋根破損、地盤の側方流動(河川側へ)に伴う基礎の損傷及び構造体の歪	9		部分修理	土台修理
B	11	明治後期		○	○	○		10	全面葺替		小屋組修理
	9	明治後期		○	○	○		12	全面葺替		鴨居取替
	10	明治後期		○	○	○					
	22	明治後期		○	○	○					
	21	明治後期		■	×	○	屋根崩落、残存瓦全面にズレ				
	20	大正13年		○	○	■	建物全体が西方向へ傾斜し小屋組みが歪	10		棟積み直し	
	19	大正か		○	○	○		10	全面葺替		小屋組・土台・柱修理
	18	大正か		○	○	○		9	全面葺替		構造補強
	17	大正		○	○	○		8	部分修理		半解体による構造補強
	88	不明		○	○	○		22	ガイドライン		腐朽部材交換
	51	明治後期		○	○	○		19		ベタ基礎	梁新設
	52	明治後期		○	○	○		19	全面葺替	ベタ基礎	柱・梁交換
	83	大正		○	○	○		16	全面葺替		
	79	昭和15年		○	○	○					
	80	大正13年		○	○	○					
54	不明		○	○	○		7	全面葺替			
55	明治前期		○	○	○						
90	明治後期		○	○	○		20	ガイドライン	ベタ基礎	軸組補強	
56	江戸		△	○	○		14	全面葺替		柱・土台取替・構造補強	
57	江戸		△	○	△						
58	江戸		△	○	△						
62	明和2年1765		△	○	■	基礎石が沈下し、建物全体が傾斜している	14	スレ補修		敷居取替	

表 11 外壁・軸組 地区別損傷分類 (単位棟数)

地区	棟数	無損傷					損傷率 %	
		○	△	▲	■	×		
町家	A	53	22	12	1	17	1	58
	B	22	18	2	0	2	0	18
	計	75	40	14	1	19	1	47
土蔵	A	15	1	8	2	1	3	93
	B	11	4	4	1	0	2	64
	計	26	5	12	3	1	5	81

※地区別表記では小野川流域をA 香取街道をBとしている

表 9 屋根 地区別屋根損傷分類 (単位棟数)

地区	棟数	無損傷					損傷率 %	
		○	△	▲	■	×		
町家	A	53	21	5	3	11	13	60
	B	22	17	4	0	1	0	23
	計	75	38	9	3	12	13	49
土蔵	A	15	2	1	3	4	5	87
	B	11	4	4	0	1	2	64
	計	26	6	5	3	5	7	77

※地区別表記では小野川流域をA 香取街道をBとしている

表 10 屋根 時代別屋根損傷分類 (単位棟数)

時代	棟数	無損傷					損傷率 %	
		○	△	▲	■	×		
町家	江戸/明治時代	54	22	8	3	8	13	59
	大正時代	10	9	0	0	1	0	10
	昭和時代	6	3	1	0	2	0	50
	不明	5	4	0	0	1	0	20
	計	75	38	9	3	12	13	49
土蔵	江戸/明治時代	16	3	2	3	4	4	81
	大正時代	1	1	0	0	0	0	0
	昭和時代	1	0	1	0	0	0	100
	不明	8	2	2	0	1	3	75
	計	26	6	5	3	5	7	77

4.1 屋根損傷

佐原は、保存修理工事が進んでいた為に、地区別・年代別と共に、保存修理工事の有無で分類した。図7を見ると中波や大破している建物の多くが忠敬橋周辺から下流域に分布していることが判る。表9の地区別分類で見ると、小野川流域(A)が香取街道(B)に比べて約37%損傷率が高くなっている。小野川流域の軟弱地盤の影響であると考えられる。小野川流域(A)においては中破以上の建物が24棟に上り、多くが屋根瓦を崩落させている。図8、表9を見ると小野川流域(A)においても軽微の範囲内の町家が、26棟ある。修理履歴不明の県指定文化財2棟を除き、全てに保存修理工事が行われている。香取街道(B)は3棟に保存修理工事がなされないまま軽微な損傷内であるのは、地盤の影響と考えられる。土蔵は小野川流域(A)と香取街道(B)では損傷の違いは大きくない。表10の時代別分類では、町家は昭和期以降の建物が6棟、土蔵は1棟であるので、昭和以降の建物が少なく時代別による損傷の考察は行わなかった。

表 12 外壁・軸組 時代別損傷分類 (単位棟数)

時代	棟数	無損傷					損傷率 %	
		○	△	▲	■	×		
町家	江戸/明治時代	54	25	14	1	14	0	54
	大正時代	10	7	0	0	2	1	30
	昭和時代	6	3	0	0	3	0	50
	不明	5	5	0	0	0	0	0
	計	75	40	14	1	19	1	47
土蔵	江戸/明治時代	16	2	9	2	1	2	88
	大正時代	1	1	0	0	0	0	0
	昭和時代	1	0	1	0	0	0	100
	不明	8	2	2	1	0	3	75
	計	26	5	12	3	1	5	81

表 13 土蔵個別損傷記録(屋根伏図網掛けは損傷部分)

地区	保存番号	建築年代	屋根伏図			外壁損傷	備考	保存修理工事			
			大屋根	大棟	大棟			年度	屋根葺替	基礎	土台軸組等
A	4	江戸後期	○	○	△			7	全面葺替		
	2	江戸	■	×	△	棟瓦落下、屋根全面のズレ		8			*外壁・開口部修理
	1	明治前期	×	×	△	屋根瓦全面崩落、下屋根瓦全面崩落		8	全面葺替		
	県N乾物店	明治初年	▲	△	△	屋根瓦一部損傷					
	県N商店	明治29年	×	■	△	大棟、屋根瓦が全体に破損		11			*壁面修理
	78	元治元年1864	×	×	△	棟瓦の落下		14			*漆喰修理
	16	昭和前期	△	○	△						
	69	江戸後期	○	○	○			11	土間コン		腐朽土台取替 柱起こし
	県S醤油店	明治初年	■	■	▲	棟瓦破損、開口部の扉の塗り全体が壁面から剥離		5~8 12 18 ~ 22	屋根解体修理		軸組解体修理
	県F呉服店	明治初年	×	×	×	大棟落下、屋根瓦全体に破損、漆喰壁面4面とも大きく剥離や亀裂		5	部分修理		
	73	明治前期	▲	△	■	棟瓦破損、軒ハスレ、経年変化により構造体破損、雨漏りの恐れあり					
	県Y商店	寛政10年	■	■	▲	棟瓦破損、屋根瓦全体破損、4面とも大きく漆喰剥離や亀裂発生		8 9			軸組修理
	36	不明	×	×	×	屋根全面崩落、下屋根破損、外壁東/南面崩落		14			構造補強
	40	明治前期	■	■	×	屋根一部損傷、外壁全面崩落					
	44	明治初期	▲	○	△	屋根瓦一部落下					
B	74	不明	×	×	△	屋根崩落					
	76	明治前期	△	△	△			14	全面葺替		構造補強
	77	不明	×	■	×	屋根棟瓦及び平部分損傷、漆喰、外壁崩落		14	全面葺替		構造補強
	91	大正か	○	○	○			21			腐朽部材交換
	61	不明	○	○	○			9			土台修理 梁取替
	82	明治24年	△	○	△			15	ズレ直し		
	81	江戸	○	○	○			14			*下見板葺替・漆喰修理
	63	不明	■	×	○	屋根崩落、窓破損		7 8 16	全面葺替		土台修理 梁取替
	75	不明	○	○	▲	縁巻部分が折れ、軒先が大きく落ち込ん		13	ズレ直し		
	64	不明	△	○	×	壁は崩落箇所が多数		9	全面葺替		構造補強(柱・梁追加)
65	不明	△	○	△			15	ズレ直し		野垂木取替	

表 14 屋根 保存修理工事有無損傷分類(単位棟数)

	保存修理工事の有無	無損傷					損傷率 %	
		○	△	▲	■	×		
町家	○	55	33	4	3	6	9	40
	×	20	4	5	1	6	4	80
	計	75	37	9	4	12	13	51
土蔵	○	20	6	4	0	4	6	70
	×	6	0	1	3	1	1	100
	計	26	6	5	3	5	7	77

4.2 外壁・軸組損傷

図 10 を見ると、屋根損傷に比べて、外壁・軸組損傷は小野川の下流に集中していることが判る。下流では中破している建物が多く見られる。これは液状化現象の影響で小野川護岸が壊れ、宅盤が川の方向へずれていったことによる影響である。[写真 9・10 参照] 多くが、下屋部分の宅盤がズレ、軸組に歪が出たことによる損傷である。

町家の被害はその影響以外はほとんど見られないが、土蔵は地区による損傷の差は見られない。土蔵は軸組の変形よりも、外壁の被害がほとんどである。真壁と同様に妻壁の隅角部、鉢巻を中塗り壁から剥落させているものも多く見られる。

4.3 保存修理工事

次に、保存修理工事による損傷率の差を考察する。佐原は平成7年度から県指定文化財は23事業、特定建築物は平成22年度までに記録された事業は60事業である。(※同じ建物に複数回実施された事業を含む) 景観形成物や修景事業が他に15事業行われている。

保存修理工事の履歴を見ると、県指定文化財と特定建築物では伝統的建造物に対する考えの違いが見られる。県指定文化財は、腐朽した部分や、破損した部分の修理を最小限に留め、屋根の修理では、瓦のズレを修正し、瓦を止める漆喰の修理が行われるだけで、根本修理は行われていなかった。また腐朽した土台の修理は行われているが、基礎をベタ基礎とするなどの耐震的な工法は行われていなかった。

一方、特定建築物の町家は、選定当初から、大規模な全面的な葺替工事が行われていた。選定当初の葺替工事は履歴にはないが、空葺きの引掛け瓦工法で行われたと香取市の担当者は述べていた。また平成15年度からは、阪神淡路大震災以降



写真 13 左 2 棟は F 呉服店・K 蕎麦店である。右側 2 棟(特定建築物保存番号 85・49)は瓦のガイドライン工法

表 15 外壁・軸組 保存修理工事有無損傷分類 (単位棟数)

	保存修理工事の有無		損傷					損傷率 %	
	○	×	無	軽微	小破	中破	大破		
町家	○	×	55	33	8	1	13	0	40
	○	×	20	7	6	0	6	1	65
	計		75	40	14	1	19	1	47
土蔵	○	×	20	5	8	3	0	4	75
	○	×	6	0	3	1	1	1	100
	計		26	5	11	4	1	5	81

表 16 町家保存修理工事と屋根破損

保存番号	地区	屋根破損		外壁・軸組破損	保存修理工事 施工年度	保存修理工事		
		大屋根	大棟			屋根葺替	基礎工事	土台・軸組工事
特定建築物								
8	A	○	○	○	21	ガイドライン	ベタ基礎	木造剛節フレームで補強
13	A	○	○	○	21	ガイドライン	ベタ基礎	構造補強・腐朽部材取替
90	B	○	○	○	20	ガイドライン	ベタ基礎	軸組補強
72	A	○	○	■	17	ガイドライン	ベタ基礎(下屋部無)	
85	A	○	○	○	17	ガイドライン	ベタ基礎	小屋組修理
32	A	○	○	○	15	ガイドライン	布基礎	
88	B	○	○	○	22	ガイドライン		腐朽部材交換
49	A	○	○	○	15	ガイドライン		軸組修理
84	A	○	○	○	16	ガイドライン		
43	A	○	○	○	6・16	ガイドライン		
52	B	○	○	○	19	全面葺替	ベタ基礎	柱・梁取替
5	A	○	○	○	10	全面葺替	部分修理	土台修理
18	B	○	○	○	9	全面葺替		構造補強
42	A	○	○	○	12	全面葺替		欄干・柱取替
9	B	○	○	○	12	全面葺替		欄干一部取替(部分修理)
10	B	○	○	○	12	全面葺替		欄干一部取替(部分修理)
19	B	○	○	○	10	全面葺替		小屋組・土台・柱修理
11	B	○	○	○	10	全面葺替		小屋組修理
3	A	○	○	○	14	全面葺替		
6	A	○	○	○	6	全面葺替		
14	A	○	○	○	7	全面葺替		
54	B	○	○	○	7	全面葺替		
83	B	○	○	○	16	全面葺替		
38	A	○	○	■	7	全面葺替		
45	A	○	○	■	10	全面葺替		
87	A	○	○	△	18	下屋復元・部分修理		
34	A	○	○	■	9	下屋復元・部分修理		
20	B	○	○	■	10	積積み直し		
17	B	○	○	○	8	部分修理		半解体による構造補強
51	B	○	○	○	19		ベタ基礎	梁新設
31	A	○	○	■	18		ベタ基礎(下屋部無)	腐朽部材取替
24	A	○	○	△	15		布基礎	土台取替
60	A	○	○	○	9			部分修理
28	A	△	△	○	10	全面葺替		土台・柱修理
62	B	△	△	■	14	スレ補修		敷居一部取替(部分修理)
59	A	△	○	○	7・11	部分修理		
70	A	△	△	○	11			土台・柱取替
56	B	▲	▲	○	14	全面葺替		柱・土台取替・構造補強
15	A	▲	▲	△	9	全面葺替		
93	A	▲	○	○	20			鉄骨でフレーム補強
37	A	■	■	■	7	全面葺替		
68	A	■	■	△	13・14	下屋復元・部分修理		土台・柱腐朽部分取替
92	A	■	■	■	20	下屋葺替		腐朽土台・柱交換
47	A	■	■	■	11	下屋葺替		柱・折修理
48	A	■	■	■	9		部分修理	土台修理
35	A	■	■	■	8			*外壁・開口部修理
53	A	×	×	○	14			*下見板張替
12	A	×	×	△	18	軒先復元		
66	A	×	×	○	12・13	全面葺替	土間コン	土台取替
67	A	×	×	○	12・13	全面葺替	土間コン	土台取替
71	A	×	×	△	13・14・16	全面葺替		土台修理
県指定文化財								
N乾物店	A	×	■	▲	9・10・11	影森の漆喰修理		小上がり修理(部分修理)
S醤油店	A	×	×	■	5・8・913・14・20	影森の漆喰修理	部分修理	土台交換・2階床梁交換
F呉服店	A	×	×	△	6・7・22	部分修理		一部半解体修理
S書店	A	×	×	△	12・18	部分修理		

表 17 土蔵保存修理工事と屋根破損

保存番号	地区	屋根破損		外壁・軸組破損	保存修理工事 施工年度	保存修理工事		
		大屋根	大棟			屋根葺替	基礎工事	土台・軸組工事
特定建築物								
4	A	○	○	△	7	全面葺替		
75	B	○	○	▲	13	スレ直し		
69	A	○	○	○	11		土間コン	腐朽土台取替・柱起こし
91	B	○	○	○	21			腐朽部材交換
61	B	○	○	○	9			土台修理・梁取替
81	B	○	○	○	14			*下見板張替・漆喰修理
76	B	△	△	△	14	全面葺替		構造補強
64	B	△	△	×	9	全面葺替		構造補強(柱・梁追加)
65	B	△	△	△	15	スレ直し		野垂木取替
82	B	△	△	△	15	スレ直し		
63	B	■	×	○	7・8・16	全面葺替		土台修理・梁取替
2	A	■	×	△	8			*外壁・開口部修理
78	A	×	×	△	14			*漆喰修理
77	B	×	×	×	14	全面葺替		構造補強
1	A	×	×	△	8	全面葺替		
36	A	×	×	×	14			構造補強
県指定文化財								
S醤油店土蔵	A	■	■	▲	5・8~12・18・20~22	屋根解体修理		軸組解体修理
Y商店土蔵	A	■	■	▲	8・9			軸組修理
N商店土蔵	A	×	×	△				*壁面修理
F呉服店土蔵	A	×	×	×	5	部分修理		

開発された空葺きの「瓦屋根標準設計・施工ガイドライン」¹⁷⁾(以下ガイドライン工法と記す※平部分の瓦は全数釘留をし、棟瓦は専用のボルトで棟木と緊結する工法) [図 11 参照]を積極的に工法として推薦するようになってきており、10棟の建物に採用されていた。

写真 13 は忠敬橋付近の被害写真で、左 2 棟は県指定文化財、右 2 棟はガイドライン工法で保存修理工事が行われた建物である。県指定文化財の 2 棟は屋根が全面的に崩落し、ガイドライン工法の 2 棟は無損傷であり損傷の違いが明らかである。

平成 9 年度からは腐朽した土台の保存修理工事が見られるようになるが、特に注目すべき点は、平成 13 年度以降から特定建築物では基礎の本格的な修理が行われるようになったことである。基本的には揚屋をし、ベタ基礎工法とすることが基本となっており、対象範囲では 8 棟の建物に採用されている。

4.3.1 屋根の保存修理工事

表 14 では全ての建物を保存修理工事有無で分類し、屋根の損傷度についての考察を行った。町家は約 40% の違いが見られ保存修理工事の効果が高いことが判るが、土蔵は保存修理工事が行われた建物の損傷率が 70% と高く、中破以上の損傷の建物が半分となり、保存修理工事による効果が表れていない。

表 16 においては、町家 75 棟のうち保存修理工事が行われた建物は 55 棟 (約 73%) である。

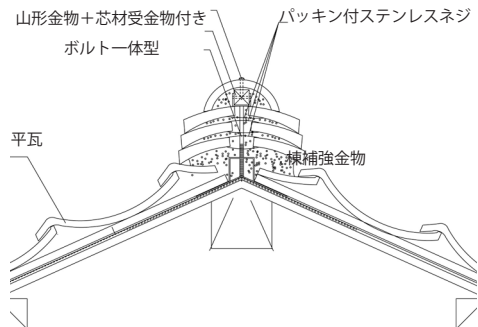


図 11 ガイドライン工法

出典：瓦屋根標準設計・施工ガイドライン¹⁷⁾

保存修理工事について直接屋根被害に影響を与える、屋根葺替工事、基礎工事、土台・柱等の軸組工事を対象とし、無損傷から被害の程度に応じて並べている。

保存修理工事が行われた 55 棟の内無損傷は 33 棟 (60%)、9 棟 (約 16%) の建物が大破している。各保存修理工事の内容で、損傷を考察すると、全面葺替工事が行われた 32 棟のうち無損傷は 25 棟 (約 78%) となっているが、ガイドライン工法で施工された 10 棟は全て無損傷である。22 棟は引掛け瓦葺工法で施工されたが、7 棟 (約 32%) が損傷し、大破した建物は 3 棟 (約 9%) ある (保存番号 66・67・71)。部分的な修理ではなく基礎工事が行われた 12 棟は、10 棟 (約 83%) が無損傷となっている。部分的な修理ではなく土台・軸組工事が行われた 29 棟の内、無損傷は 16 棟 (約 55%) で、大破した建物は、3 棟 (約 13%) となっている。以上から、屋根全面葺替や基礎工事を適切に行うことで、屋根の損傷は小さくなる率が高いことが判る。

表 17 においては町家と同様の方法で、保存修理工事が行われた土蔵 20 棟を考察した。20 棟の内無損傷は、6 棟 (30%) で 6 棟 (30%) が大破している。保存修理工事が行われたにもかかわらず、70% が損傷したことになり、町家と比較して損傷率が高い。各保存修理工事の内容で、損傷率を考察すると、全面葺替工事が行われた 7 棟の内、無損傷は 1 棟 (約 14%) に過ぎない。2 棟 (約 29%) が大破している。基礎工事は、唯一保存番号 69 の 1 棟だけで、無損傷である。同時に土台交換と柱起こしをしていることも効果的であったと考えられる。部分的な修理ではなく 11 棟に軸組修理が行われているが、屋根の無損傷は 3 棟 (約 27%) に過ぎない。構造補強が行われたにもかかわらず 2 棟が大破している。土蔵は根本修理が行われても屋根を破損する確率が高いことを示している。

4.3.2 外壁・軸組の保存修理工事

表 15、表 16 において外壁・軸組損傷と保存修理工事の内基礎工事及び土台・軸組工事が行われた町家を考察した。55 棟の内、無損傷は 33 棟 (60%)、13 棟が中破している。小野川流域 (A) の 11 棟のうち 9 棟はいずれも護岸の破損により、宅盤が川の方向へ側方移動をし、特に下屋の柱や壁・土間に亀裂を起こしたものである。保存番号 72・31 はベタ基礎施工が行われたにもかかわらず、下屋を損傷しているが、下屋部分を施工されていない為である。隣接している保存番号 32 は布基礎であるが、下屋部分まで施工されていたために無損傷であった。わずかな工事範囲で明暗を分けた。

県指定文化財 S 醤油店は平成 5 年度から平成 20 年にかけて、6 回に分けて様々な保存修理工事が実施されていた。特に平成 13 年度には土台の修理が行われ、平成 20 年度には 2 階床梁交換が行われたにもかかわらず、躯体に歪が生じている。主に基礎は修理が行われただけで、根本的な耐震化工法が取られなかったことによるものと思われる。

表 15、表 17 で土蔵の外壁・軸組損傷と保存修理工事の行われた 20 棟で考察する。20 棟の内、無損傷は 5 棟で、大破したものは、4 棟である。基礎を土間コンで修理されたのは、唯一保存番号 69 の 1 棟だけで、無損傷であった。大破した土蔵 3 棟は、構造補強をされていたが、外壁・軸組の損傷を防ぎきれてはいない。

4.5 考察

4.5.1 地盤の影響と損傷

ボーリング資料より固有周期を求めた結果、小野川沿いは限りなく第三種地盤に近い軟弱地盤であった。本震で佐原は震度 5 強 (計測震度 * 5.4) 最大加速度が 304gal を計測した。小野川沿いと香取街道沿いでは町家の屋根損傷率に明らかな違いが見られ、小野川沿いの町家は屋根損傷率約 60%、土蔵は約 87% の屋根損傷率であり、この損傷率は真壁とほぼ同様の損傷率で、軟弱地盤においては屋根の損傷率は非常に高くなるという結果を得た。

小野川沿いの損傷率には保存修理工事履歴のある建物を含んでおり、保存修理工事履歴のない町家 12 棟のうち無損傷であったのは 1 棟 (約 8%) に過ぎず損傷率は高い。外壁・軸組の損傷率もほぼ同様の損傷率である。土蔵は地区による大きな損傷率の差は屋根、外壁・軸組共に見られなかった。

4.5.2 保存修理工事

4.5.2.1 屋根の保存修理工事

保存修理工事の有無で町家は約 42% の違いが見られ、保存修理工事の効果が高いことが判った。しかし、土蔵は保存修理工事が行われた建物の損傷率は約 7 割と高く、損傷も中破・大破した建物が多く見られ、保存修理工事による屋根損傷を防げていない。この要因は土葺きで修理が行われた為である。

3.3.2- 建設年代と屋根損傷 - で述べた通り、関東では昭和期以降引掛け瓦葺工法が普及したが、平成 7 年度から始まった保存修理工事では、建築基準法以後の引掛け瓦参考工法により施工されており、それについての考察を行う。瓦の施工方法は、戦後になり建築基準法（昭和 25 年）施行令 39 条で規定されたが、引掛け瓦葺工法についての具体的な施工基準は定められなかった。昭和 46 年になり、建設省告示第 109 号で初めて設計基準が定められた。その基準は、平瓦は軒先やケラバから 2 列は釘止めとし、棟瓦も棟木と銅線で緊結するようになり、地震によるズレや落下は改善された。しかし、平成 7 年（1995）の阪神淡路大震災においては、多くの瓦屋根や棟瓦が落下したことにより、再び瓦屋根工法の耐震性の問題が指摘された。平成 13 年になり、独立行政法人日本建築センター監修のガイドライン工法が発行され、980gal（1G）の最大加速度でも被害が発生しない耐震化工法が完成した。佐原においては引掛け瓦葺工法で施工された約 3 割は損傷したが、ガイドライン工法は全て無損傷であり、第三種地盤においても効果が高いことが判った。

4.5.2.2 外壁・軸組の保存修理工事

佐原においては最近の町家の保存修理工事においては揚げ床し、ベタ基礎工法が取られ、下屋を含む建物全てをベタ基礎工法とした建物には被害は無い。ベタ基礎工法は耐震化だけではなく、土台や軸組の腐朽防止のために効果がある。土蔵では、保存修理工事は主に、腐朽した土台や軸組の構造補強が中心になっているが外壁・軸組の損傷を防ぎきれてはいない。唯一基礎を土間コンで修理された 1 棟は、無損傷であった。関東の土蔵は防火の為に床下換気口を取らず、換気がない為に、土台や軸組の腐朽が進みやすい。基礎にコンクリートを打設することは土蔵にも効果があったと考える。

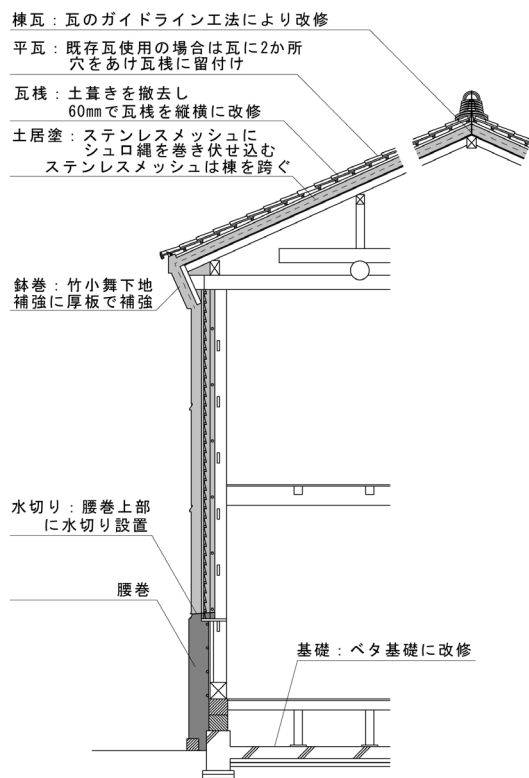


図 12 土蔵の保存修理工事試案

5. まとめ

重伝建地区の伝統的建造物については文化庁が阪神淡路大震災以降、文化財保護部長通知¹⁸⁾を出し、補強方針の策定にあつては、「木造住宅の耐震診断と補強方法¹⁹⁾」を参考に示している。真壁・佐原は既に、補助金を活用した震災復旧工事はほとんど終了しているが、所有者が復旧工事を急ぐ事情や、経済的な負担が増える事情等で耐震補強が行われた建物はほとんど見られない。

本研究において、佐原の保存修理工事の考察を通じて、町家の屋根をガイドライン工法、基礎をベタ基礎工法とすれば、震度 5 強程度までは、耐震補強が行われなくても損傷を防げる可能性が高いことを明らかにした。

また土蔵は、関東の土蔵の特徴を生かした効果的な保存修理工事が必要である。本研究の成果を踏まえ、屋根及び外壁の保存修理工法の試案を作成したのが図 12 である。以上本研究のまとめとしたが、可能な限り耐震補強を行うことや、20 年毎の定期的な保存修理工事を進めることは基本である。

6 謝辞

本研究に当たり、筑波大学芸術系教授・上北恭史先生には論文指導に終始懇切丁寧なご指導をいただき感謝の意を表します。本論文を纏めるにあたって三重大学教授・花里利一先生に構造的な見地から様々なご指導を賜り誠にありがとうございました。筑波大学社会工学系教授・藤川昌樹先生には真壁の調査に当たり適切な指導及び便宜を図っていただき心よりお礼を申し上げます。

桜川市真壁地区の調査に当たっては、桜川市教育委員会には、震災復旧にお忙しい中貴重な調査資料・被害写真等のご提供をいただきました。香取市佐原地区の調査に当たっては重伝建地区の調査資料・被害写真に関しては香取市都市整備課事業推進班に、県指定文化財の調査資料・被害写真に当たっては香取市教育委員会生涯学習課文化財班にご提供いただきました。これらの貴重な資料をご提供いただき心より御礼申し上げます。

7. 引用文献

〈論文〉

- 6) 林 康裕等：2001年芸予地震における木造家屋被害の分析
日本建築学会構造系論文集 No556 pp35-42 2002

〈文献〉

- 1) 日本建築学会：2011年東北地方太平洋沖地震災害調査速報 pp556 2011年7月
 - 2) 日本建築学会：東日本大震災合同調査報告編集委員会編集
東日本大震災合同調査報告 pp157-171 2015年7月15日
 - 3) 加藤邦夫編：阪神・淡路大震災と歴史的建造物 株式会社思文閣出版 pp92-106
平成10年発行
 - 4) 日本建築学会：2007年能登半島地震調査報告 pp72-110 2010年3月25日
 - 5) 輪島市教育委員会：能登・黒島の街並みー
輪島市黒島地区伝統的建造物群保存対策調査報告書 209p 2008年12月
 - 7) 河東義之・藤川昌樹編：真壁の町並み 伝統的建造物群保存対策報告書
桜川市教育委員会発行 219p 平成18年3月
 - 8) 佐原市教育委員会：佐原の街並み 28p 平成10年2月、平成16年10月改定
 - 11) 真壁伝承館地質データ：平成19年度 まちづくり交付金事業真壁地区多目的複合施設建設事業地質調査業務委託調査 常陸側工株式会社 pp10-32 平成20年3月4日
 - 13) 駒井鋼之介：かわら日本史 雄山閣出版 261p 昭和49年6月30日
 - 15) 大崎順彦：地震と建築 岩波書店 200p 1983年8月
 - 16) 坂本 功：文化財建造物の構造・耐震補強 文建協通信 89 pp1-37 2007年7月
 - 17) 独立行政法人建築研究所監修 社団法人 全日本瓦工事業連盟：
瓦のガイドライン工法 123p 平成13年
 - 19) 国土交通省住宅局建築指導課監修 財団法人日本建築防災協会発行：
木造住宅の耐震診断と補強方法 364p 1985年11月20日初版発行 2012年改訂
- 〈ウェブサイト〉
- 9) 気象庁強震観測データ：
http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/jishin/110311_tohokuchiho-taiheiyouoki/index2.html[2015年9月30日確認]
 - 10) 独立行政法人防災科学技術研究所強震観測網：<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>
[2015年9月30日確認]
 - 12) 千葉県地質インフォメーションバンク：
<http://www.pref.chiba.lg.jp/pbgeogis/servlet/infobank.index> [2015年9月30日確認]
 - 14) 愛知県陶器瓦工業組合：瓦工事の変遷 http://www.kawara.gr.jp/36_hensen/hensen.shtml [2015年9月30日確認]
 - 18) 文化庁文化財保護部長通知：文化財建造物等の地震時における安全性確保について
平成8年1月17日 庁保建第41号 http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/nc/t19960117001/t19960117001.html [2015年9月30日確認]