横須賀市博研報 (自然) Sci. Rept. Yokosuka City Mus., (59): 1-10. Mar. 2012

2011 年東北地方太平洋沖地震による茨城県北部の 屋根瓦損壊と地盤特性

柴田健一郎*

Damage to roofing tiles by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake and the ground foundation in northern Ibaraki Prefecture, central Japan

SHIBATA Kenichiro*

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 屋根瓦, 茨城県, 地盤, 地震被害 Key words: 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, roofing tiles, Ibaraki Prefecture, ground foundation, earthquake damage

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震による屋根瓦の損壊状況を茨城県北部で調査した。26地点で 任意の道路を踏査し、接道する屋根瓦の家屋50戸について屋根瓦損壊の有無と大棟の方向を記録した。 更新統や沖積層を地盤とする地域は屋根瓦の損壊率が高く、新第三系、ジュラ系、日立古生層、阿武隈花崗 岩類が分布する地域は損壊率が低かった。軟弱な地盤で地震動が増幅した可能性が考えられる。兵庫県 南部地震での屋根瓦被害と比較すると、今回の地震では大きな最大加速度が観測されたにもかかわらず、 屋根瓦の被害がそれほど大きくなかった。この結果は、木造住宅に大きな被害をもたらす周期1~2秒 の揺れが地震の規模の割に少なかったことを反映していると解釈される。屋根瓦の損壊状況と家屋の大 棟の方向を検討すると、石造鳥居や円柱灯篭の損壊から推定される地震の振動の方向と直交する向きに 大棟を持つ家屋で、屋根瓦の被害が大きい傾向が認められる。屋根瓦損壊状況と大棟の方向は、地震の振 動の方向を推定するために有効であると考えられる。

The damage to roofing tiles by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake was investigated in northern Ibaraki Prefecture, central Japan. In the twenty-six areas, fifty houses with roofing tiles along a street were checked whether the tiles had been damaged. The directions of the ridge of the roofs were also measured. Percentages of damaged roofing tiles in the area on the Quaternary deposits were larger than those in the area on the Neogene, Jurassic, Abukuma granitic rocks, and Hitachi Paleozoic Formations. It is interpreted that the earthquake vibration was amplified in the softer ground. The percentages of damaged roofing tiles by this earthquake are almost the same as, or less than those of the 1995 South Hyogo Prefecture earthquake, although the maximum accelerations in the 2011 earthquake measured larger than those in the 1995 earthquake. The result is interpreted to reflect the ground motion during the 2011 earthquake with a period of 1 to 2 seconds, which damages wooden houses extremely, was few for the magnitude of the earthquake. In some areas, roofing tiles with the ridge direction perpendicular to the orientation of the ground motions, which were estimated from the damages of toriis (gates of the *Shinto* shrines) and stone lanterns, were more damaged. Checking damaged roofing tiles and the directions of the ridge of the roofs may help us understand the orientation of the ground motion during an earthquake.

* 横須賀市自然・人文博物館 〒238-0016 神奈川県横須賀市深田台 95
原稿受付 2011 年 10 月 30 日 横須賀市博物館業績 第 647 号

はじめに

大きな被害をもたらした地震の直後には、墓石(東北 大学理学部地質学古生物学教室、1979;小玉ほか、2001;川 辺、2007a)や石灯篭(加藤ほか、2008;加藤・道家、2009)、 屋根瓦(先山・小林、1998)、石造鳥居(川辺、2007b)など の建造物被害が調べられてきた。1995年兵庫県南部地 震以降、全国に多くの地震計が設置されるようになっ たが、人工建造物は地震計よりも高い密度で分布する ため、建造物被害のデータは地震動の特性を理解し、防 災対策を講ずるための重要な基礎的データとなりうる (加藤・道家、2009)。

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は

東日本の広い範囲に激しい揺れをもたらし、地震や津 波によって未曾有の災害が引き起こされた。この地 震による東日本各地の建造物被害も公表され始めて いる(石渡ほか,2011; 岡田ほか,2011など)。茨城県北 部では震度5弱から6強の揺れを観測し、強振動による ブロック塀の倒壊,屋根瓦の崩落,墓石の転倒、液状化 現象によるマンホールの浮き上がり、津波による家屋 の損壊などの被害が生じた(第1図)。筆者は茨城県北 部にて、この地震による建造物被害を、特に屋根瓦の 損壊状況に着目して調査した。本論文ではその調査 結果を示し、地盤特性と屋根瓦被害状況の関係、なら びに地震動の諸性質について述べる。



第1図 茨城県北部の建造物被害. A: 一階が全潰した木造家屋. 常陸太田市大方町. 2011年3月27日撮影. B: ブロック 塀の倒壊. 那珂市中台. 2011年4月10日撮影. C: 液状化現象によるマンホールの浮き上がり. 常陸太田市玉造町. 2011年4月11日撮影. D: アスファルトの亀裂. 那珂市門部. 2011年4月10日撮影. E1: 津波で消失した玉浦六角堂. 北茨城市大津町. 2011年3月27日撮影. E2: 震災前の玉浦六角堂. 2010年3月29日撮影.

調査方法

調査地は茨城県水戸市, 笠間市, 那珂市, 東茨城郡 城里町, 常陸大宮市, 常陸太田市, 日立市を含む東西約 30km, 南北約30kmの範囲の26地点(第1表)で, 調査期 間は2011年3月26日から5月4日である。各調査地の任 意の道路を踏査し,接道する屋根瓦の家屋50戸のデー タを記録した。調査項目は屋根瓦損壊の有無と大棟 (屋根の最も高い水平の部分)の方向である。さらに 26地点のうち23地点では家屋の階数を記録した。棟

第1表 調査地のリスト.地質区分は吉岡ほか (2001),地形区分は貝塚ほか (2000),小池ほか (2005)に基づく.

| 記号 | 調査地 | 地質区分 | 地形区分 |
|----|---------------|---------|------------|
| а | 常陸大宮市上小瀬 | ジュラ系 | 八溝山地(鷲子山塊) |
| b | 常陸大宮市北塩子 | 下部中新統 | 八溝山地(鷲子山塊) |
| с | 常陸大宮市岩崎 | 沖積層 | 久慈川低地 |
| d | 常陸大宮市下伊勢畑 | ジュラ系 | 八溝山地(鶏足山塊) |
| e | 常陸大宮市南町/栄町 | 上部更新統 | 那珂台地 |
| f | 常陸大宮市小場 | 中部更新統 | 瓜連丘陵 |
| g | 城里町阿波山 | 低位段丘堆積物 | 那珂川・涸沼低地 |
| h | 城里町石塚 | 上部更新統 | 東茨城台地 |
| i | 城里町徳蔵 | ジュラ系 | 八溝山地(鶏足山塊) |
| j | 笠間市小原 | 中部更新統 | 友部丘陵 |
| k | 常陸太田市下宮河内町 | 下部中新統 | 八溝山地(久慈山塊) |
| 1 | 常陸太田市東染町 | 阿武隈花崗岩類 | 八溝山地(久慈山塊) |
| m | 常陸太田市大方町/竹合町 | 沖積層 | 久慈川低地 |
| n | 常陸太田市大平町 | 上部鮮新統 | 八溝山地(久慈山塊) |
| 0 | 常陸太田市粟原町 | 沖積層 | 久慈川低地 |
| р | 常陸太田市内田町 | 沖積層 | 久慈川低地 |
| q | 那珂市瓜連 | 沖積層 | 久慈川低地 |
| r | 那珂市鴻巣 | 上部更新統 | 那珂台地 |
| S | 那珂市横堀 | 上部更新統 | 那珂台地 |
| t | 那珂市中台 | 上部更新統 | 那珂台地 |
| u | 水戸市上国井町 | 沖積層 | 那珂川・涸沼低地 |
| v | 水戸市河和田1丁目 | 上部更新統 | 東茨城台地 |
| W | 水戸市青柳町 | 沖積層 | 那珂川・涸沼低地 |
| х | 日立市深荻町 | 中部中新統 | 阿武隈山地南部 |
| у | 日立市諏訪町 / 西成沢町 | ペルム系 | 阿武隈山地南部 |
| Z | 日立市東多賀町 | 上部更新統 | 常磐海岸 |



第2図 大棟が損壊した屋根瓦.常陸大宮市南町.2011年4 月12日撮影.屋根各部の名称は渡邉・石川(1996)に基づく.



第3図 屋根瓦損壊の応急処置として屋根がブルーシートで 覆われた家屋.常陸太田市大方町.2011年3月27日撮 影.

瓦 (大棟や勾配のある隅棟の瓦) が損壊した家屋が 多く見られ(第2四),棟瓦の損壊が確認できる家屋を 「損壊有」と判断した。屋根瓦損壊の応急処置とし てブルーシートで屋根を覆っている家屋も多く(第3 図),これらの家屋も「損壊有」と判断した。定量的 な評価が困難なため家屋の築年数は考慮しなかった。 津波の影響を受けた沿岸部では調査していない。

茨城県北部の地質概略

調査地域には棚倉破砕帯の南端が北北西-南南東方 向に延び、その東側には阿武隈山地南部を構成する日 立古生層及び阿武隈花崗岩類が分布し、西側の八溝山 地(鷲子・鶏足山塊)にはジュラ紀付加コンプレック スを構成する堆積岩類が分布する。鷲子山塊と棚倉破 砕帯に挟まれる久慈山塊には新第三系が分布し,調査 地域南東の平野部には更新統と沖積層が分布する。更 新統は那珂台地や東茨城台地,瓜連丘陵,友部丘陵を構 成し,沖積層は久慈川と那珂川沿いに分布する(吉岡ほ か,2001)。ここでは日立古生層及び阿武隈花崗岩類 の分布域2地点,ジュラ紀の堆積岩類3地点,新第三系4 地点,更新統(低位段丘堆積物を除く)9地点,沖積層(低 位段丘堆積物を含む)8地点で調査した(第1表)。山地 の調査地はいずれも古くからの集落であり,谷埋め・ 盛り土などの大規模な宅地造成は行われていない。



第4図 茨城県北部の屋根瓦損壊率. データの数はいずれの地点も 50 戸. 地質図は吉岡ほか (2001) を簡略化. 調査地 a ~ z は第1表の記号に対応する.

屋根瓦の損壊率は沖積層を地盤とする地域で16~ 58%,更新統で28~58%,新第三系で4~12%,ジュ ラ系で0~12%,日立古生層及び阿武隈花崗岩類4% であった(第4図)。最も損壊率が大きかったのは常陸 太田市大方町 / 竹合町(沖積層),ならびに那珂市中台 (更新統)で58%,最も損壊率が低かったのは常陸大宮 市上小瀬(ジュラ系)で0%であった。定量的なデー タは得ていないが,古い家屋の屋根瓦のみが選択的に 損壊している印象はなかった。また,屋根瓦以外の建 造物(ブロック塀,墓石,石造鳥居など)の被害の程 度は,屋根瓦と同様に,沖積層や更新統を地盤とする 地域で大きかった。

屋根瓦の損壊状況と大棟の方向を検討すると、様々

な大棟方向の家屋で屋根瓦が損壊していた(第5図)。 しかし,特定の大棟方向の家屋で被害が大きかった地 域がいくつか認められる。例えば那珂市横堀(第5図の 調査地s)では,北東-南西方向の大棟を持つ家屋で屋 根瓦が多く損壊し,北北西-南南東方向の大棟を持つ 家屋では損壊が少ない。

建物の階数を記録すると、平屋建てと二階建ての家 屋がほとんどを占め、三階建ての家屋は笠間市小原で 1戸(屋根瓦損壊なし)、常陸大宮市南町 / 栄町で1戸 (屋根瓦損壊あり)の2戸のみであった。三階建ての家 屋が少なかったため、ここでは平屋建てと二階建ての 家屋の屋根瓦損壊状況について検討する。13地点で二 階建て家屋が平屋建て家屋に比べて損壊率が高かっ た。23地点の屋根瓦損壊率の平均では平屋建て家屋で 21.3%、二階建て家屋では27.0%であった(第6図)。



第5図 大棟の方向と屋根瓦損壊の有無.地質図は吉岡ほか(2001)を簡略化.地質図の凡例は第4図を参照.調査地 a ~ z は 第1表の記号に対応する.



第6図 家屋の階数別にみた屋根瓦の損壊状況.調査地点 a ~ z は第1表の記号に対応する. n はデータの数を示す.

屋根瓦損壊率と地盤特性

屋根瓦の損壊率は表層地盤である沖積層や更新統の 分布域で大きく,深部地盤である新第三系や,ジュラ紀



第7図 震央からの距離と地盤特性,屋根瓦損壊率の関係.

堆積岩類,日立古生層,阿武隈花崗岩類の分布域では小 さい(第4図)。一般的に地震動は震央から離れるほど 減衰し,建物被害も小さくなると考えられている。し かし,今回の調査結果では震央からの距離と屋根瓦損 壊率の相関が低く(相関係数 r=0.14),例えば震央か ら約257km離れた日立市諏訪町・西成沢町(日立古生 層)の屋根瓦損壊率は4%だったのに対し,約277km離 れた那珂市中台(更新統)の損壊率は58%であった(第 7図)。調査地域の屋根瓦被害は地盤特性に強く依存し ており,沖積層や更新統からなる軟弱な地盤で地震動 が増幅した可能性が考えられる。先山・小林(1998) は1995年兵庫県南部地震で神戸市長田区〜北区の屋根 瓦破損について調査し,新しく固結度の低い地質から なる地域で屋根瓦被害が大きいことを示しており,本 論文の調査結果と整合的である。

更新統で構成される台地上では沖積低地に比べて 地盤条件が良好で,地震被害が少ないとされてきた。 1923年関東地震では,震源域だけでなく埼玉県東部か ら東京湾にかけての沖積低地で家屋の全潰率が大き かったことが示されている(武村,2003;諸井,2008)。 しかし,今回の調査結果では更新統の屋根瓦損壊率 は沖積層のそれと同程度であった(第4図)。今回の地 震による茨城県つくば市と土浦市の屋根瓦被害を調 査した岡田ほか(2011)も同様の調査結果を示してい る。これらは,更新統から構成される台地上であって も,地震の規模や地震動の特性によって建造物被害が 大きくなる可能性があることを示している。

第2表 1995年兵庫県南部地震と2011年東北地方太平洋沖地震の屋根瓦損壊率と最大加速度の比較. 常陸大宮市の最大加速度は独立行政法人防災科学技術研究所(2011)に基づく.

| 地震 | 調査地 | 屋根瓦 損壊率 | 最大 加速度 | 文献 | |
|---------------------|-------------------|------------|-------------------------|-----------------|--|
| 1995 兵庫県 南部地震 | 兵庫県神戸市北区 鹿の子台 | 28.8% | 272 gal (水平成分) | 先山・小林 (1998) | |
| 2011 東北地方 太平洋沖地震 | 茨城県常陸大宮市 南町・栄町 | 28.0% | 1311.9 gal (3 成分合成) | 本研究 | |

一方,建造物被害の大きさは一般的に沖積層の深さ に比例すると考えられている(例えば、山中ほか,2006)。 久慈川や那珂川では下流域ほど沖積層が厚く発達す るが(早川・勝村,1982;早川・吉川,1984),今回の調 査結果では下流域で屋根瓦被害が必ずしも大きくない。 久慈川の河口から約20km離れた那珂市瓜連と,約7km 離れた常陸太田市内田町の屋根瓦損壊率はそれぞれ 46%と28%であった(第4図)。この理由については、地 下の基盤岩の形状の相違、特定の地域での地震動の増 幅(石渡ほか,2011),厚い沖積層で地震波のエネルギー が吸収され揺れが抑えられた可能性(山中ほか,2006) などが考えられる。

1995年兵庫県南部地震との比較

先山・小林 (1998) は兵庫県南部地震における神戸 市北区鹿の子台の屋根瓦損壊率を28.2%と見積もり、 同地域の最大水平加速度が272gal であったことを示し た。さらに、被害の集中帯である「震災の帯」の最大 加速度は強振動シミュレーションにより750~900gal と復元され(松島・川瀬, 2000;山中ほか, 2006),この 地震における沖積低地での屋根瓦損壊率は57~95%に 達している (先山・小林, 1998)。一方、本研究で屋根 瓦損壊率が28%を示した常陸大宮市南町/栄町に隣接 する常陸大宮市役所では、最大加速度1311.9 gal (3成分 合成) が観測された (独立行政法人防災科学技術研究 所、2011)。また、東北地方太平洋沖地震による調査地 域での最大加速度は1845.2 (日立)~ 851.3 (水戸) gal という大きな値が観測されたが (独立行政法人防災科 学技術研究所, 2011), 沖積低地の屋根瓦損壊率は16~ 58%である (第4図)。本研究と先山・小林 (1998) の調 査方法は若干異なるため厳密な比較はできないが、今 回の地震では兵庫県南部地震に比べて大きな最大加速 度が観測されたにもかかわらず、屋根瓦の被害がそれ ほど大きくなかったといえる (第2表)。この結果は、 今回の地震において,木造住宅に大きな被害をもたら す周期1~2秒の揺れ(山中ほか, 2006; 境, 2011)が地震 の規模の割に少なかったこと(古村, 2011; 境, 2011)を 反映していると解釈される。

第3表 平屋建てと二階建て家屋の屋根瓦損壊率の平均値のt検定.

| | 平屋建て | 二階建て | |
|----------------|----------|-------|--|
| データ(調査地)の数 | 23 | 23 | |
| 屋根瓦損壊率の平均値 | 21.3% | 27.0% | |
| 標準偏差 | 19.3 | 20.6 | |
| t 値 | 0.95 | | |
| 5%有意限界值(自由度44) | 2.02 | | |
| 有意に差があるか | ない | | |
| 判定 | 損壊率に差はない | | |

建物の階数と屋根瓦被害

一般的に建物の1次固有周期は建物の高さにほぼ比 例して長くなり、高い建物ほど重量あたりの地震外力 (地震によって建造物に加わる力)が小さくなる。ここ では平屋建てと二階建ての屋根瓦損壊率が統計的に 有意に差があるかを確認するため t 検定を行った (第 3表)。 t 値は自由度44の時の5%有意限界値よりも小 さく, 平屋建てと二階建ての屋根瓦の損壊率に差がな かったことを示している。また、一般的に地盤によっ て卓越する振動の周期が異なるが、地盤特性と被害の 多かった家屋の階数との間には明瞭な関係は認められ なかった。例えば、常陸太田市大方町 / 竹合町 (調査) 地m) と水戸市上国井町 (調査地u) はともに沖積層を地 盤とするが (第1表). 大方町 / 竹合町では二階建ての被 害が多く、上国井町では平屋建ての被害が多い(第6図)。 今回の地震では、平屋建てと二階建ての屋根に作用す る地震外力にあまり差がなかった可能性が考えられる。

揺れの方向のセンサーとしての屋根瓦

川辺 (2007b) は石造鳥居の被害から,加藤ほか (2008), 加藤・道家 (2009) は円柱灯篭の倒壊方向から地震の 振動の方向(地震外力の方向)が推定できることを示 した。本研究では,調査地近隣の6つの神社で石造鳥 居 (第8図) と円柱灯篭の被害を確認し,川辺 (2007b), 加藤ほか (2008, 2009) が示した方法に基づいて地震 外力の方向を推定した(第4表)。ここでは推定された



第8図 石造鳥居の被害. A: 倒壊した石造鳥居. 山崎同姓八幡宮. 那珂市横堀. B: 亀腹部の欠け. 鹿島神社. 那珂市鹿島.

第4表 調査地近隣の神社で観測された石造鳥居と円柱灯篭の損壊状況と推定される地震外力の 方向. 地震外力の方向の推定は川辺 (2007b), 加藤ほか (2008), 加藤・道家 (2009) に基づく.

| 所在地 | 神社名 | 損壊した建造物の状態 | 地震外力の方向 |
|----------|---------|-------------|---------|
| 常陸大宮市下町 | 甲神社 | 石造鳥居の倒壊 | N73E |
| 常陸太田市粟原町 | 見目神社 | 石造鳥居貫部の欠け | S58E |
| 常陸太田市落合町 | 吉田神社 | 円柱灯篭の倒壊 | N88E |
| 那珂市鹿島 | 鹿島神社 | 石造鳥居の亀腹部の欠け | S83W |
| 那珂市横堀 | 山崎同姓八幡宮 | 石造鳥居の倒壊 | S77E |
| 水戸市上国井町 | 鹿嶋神社 | 石造鳥居の柱の破損 | S28W |
| | | | |



第9図 地震の揺れの方向と屋根瓦,石造鳥居の被害のまとめ.

地震外力の方向と、屋根瓦が損壊した家屋の大棟の方 向の関係を検討する。両者を比較すると、地震外力の 方向とほぼ直交する大棟を持つ家屋で屋根瓦の被害 が大きくなる傾向が見られた(第9図,第10図)。例え ば、那珂市横堀の山﨑同姓八幡宮では東南東方向に倒 壊した石造鳥居が認められ(第8図)、その周辺地域で は北東-南西方向に大棟を持つ家屋で屋根瓦の損壊 が多く見られた(第5図)。これらの調査結果は、屋根 瓦損壊状況と大棟の方向が、地震の振動の方向を示す センサーとなりうることを示している。家屋は通常、 日当たりが良いように建築されるため、東西方向、も しくは南北方向の大棟を持つ場合が多い(例えば第5 図,調査地p, r, u, w)。従って,大棟の方向と屋根瓦 損壊状況は,必ずしも振動方向を的確に表すわけでは ないと推定されるが,条件によっては地震の振動方向 を推定する有効なツールになると考えられる。

結 論

- (1) 2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震による屋 根瓦の損壊状況を茨城県北部で調査した。
- (2) 屋根瓦の損壊率は更新統や沖積層を地盤とする地



第 10 図 大棟の方向と石造鳥居・円柱灯篭の被害から推定 した地震外力の方向の比較.

域で高く,新第三系やジュラ系,日立古生層及び 阿武隈花崗岩類が分布する地域では低かった。調 査地域の屋根瓦被害は地盤特性に強く依存してい る。

- (3) 今回の地震では兵庫県南部地震に比べて大きな最 大加速度が観測されたにもかかわらず。屋根瓦の 被害がそれほど大きくなかった。木造住宅に大き な被害をもたらす周期1秒前後の揺れが地震の規 模の割に少なかったことを反映している。
- (4) 平屋建てと二階建ての家屋で屋根瓦の損壊率に差が認められない。
- (5) 地震の振動方向に直交する大棟方向の家屋で被害

が大きかった地域がいくつか認められる。屋根瓦 損壊状況と大棟の方向は地震の揺れの方向を示す センサーとなりうる。

謝 辞

松川正樹教授(東京学芸大学環境科学分野)と馬場 勝良教授(岐阜聖徳大学)には研究内容について議論 いただき,有益なコメントをいただいた。岡崎英昭 氏(岡崎建築工業所)には茨城県北部の屋根瓦損壊状 況について,綱川宗利氏(綱川石材)には墓石の転倒 状況について教えていただいた。柴田喜代子,柴田 佳奈の両氏には現地調査に同行いただいた。以上の 方々に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 独立行政法人防災科学技術研究所 2011. 防災科学技術研究所 強震ネットワーク K-NET. http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/
- 古村孝志 2011. 速度波形と応答スペクトル. 東京大学 地震研究所アウトリーチ室ホームページ.

http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201103_tohoku/

- 早川唯弘・勝村 登1982. 那珂川下流域における河成 段丘および沖積低地の地形発達. 茨城大学教育学部 紀要(自然科学), (31): 2-22.
- 早川唯弘・吉川明宏 1984. 久慈川下流域の沖積層の層 序と沖積低地の発達. 茨城大学教育学部紀要 (自然 科学), (33): 1-16.
- 石渡 明・宮本 毅・平野直人 2011. 2011年3月11日 の東北地方太平洋沖地震による仙台地域の墓石転 倒率について.日本地質学会News, 14 (4):9-11.
- 貝塚爽平・小池一之・遠藤邦彦・山崎晴雄・鈴木毅彦 2000. 日本の地形4関東・伊豆小笠原. 349ページ. 東 京大学出版会, 東京.
- 加藤清次・柏木健司・道家涼介・香川 真・小林裕 幸・野村彩香・藤川浩一・田緑陽一・小宮路清 孝・石若寛子・松井隆志・須田明弘・厨井 満・ 佐伯 孝・米林 博・野坂泰弘・林 昭司・増山 孝幸・吉澤杉洋・米丘 誠・松元啓輔 2008. 2007 年能登半島地震による能登半島南部地域の墓石・ 灯篭の変位について.福井県立恐竜博物館紀要,(7): 45-66.
- 加藤清次・道家涼介 2009. 灯篭の転倒方向から推定さ れる2007年新潟県中越沖地震の地震動. 福井県立恐 竜博物館紀要, (8): 41-50.
- 川辺孝幸 2007a. 石川県輪島市門前町浦上の転倒墓石 から復元された2007年能登半島地震による地震動. 地球科学, **61**: 265-279.
- 川辺孝幸 2007b. 2007年能登半島地震における石造鳥

居の被害調査から推定される地震動-方法論-.地 球科学, 61: 379-388.

- 小玉芳敬・矢野孝雄・岡田昭男・松山和也・三村 清・中村宗和・大塚 譲・外谷 洋・下田順子・ 片岡亮太郎・中本麻美・山本智子・胡斯勒図 2001. 2000年鳥取県西部地震による墓石の転倒・回転に 関する調査速報. 鳥取大学教育地域科学部紀要-地 域研究,(12):113-132.
- 小池一之・田村俊和・鎮西清高・宮城豊彦 2005.日本 の地形3東北.355ページ.東京大学出版会,東京.
- 松島信一・川瀬 博 2000. 1995年兵庫県南部地震の 複数アスペリティモデルの提案とそれによる強振 動シミュレーション. 日本建築学会構造系論文集, (534): 33-40.
- 諸井孝文 2008. 第2章震災と応急対応 1関東大震災. 歴 史地震研究会 (編) 地図に見る関東大震災: 10-12. 日 本地図センター,東京.
- 岡田真介・中村洋介・納谷友規・小松原純子・小松 原 琢・水野清秀・坂田健太郎・田辺 晋・長森 英明・中澤 努 2011. Google Earth画像を用いたつ くば市及び土浦市周辺の地震被害 (建物被害)分布 調査. GSJ Newsletter, (80): 4-5.
- 境 有紀 2011. 地震の揺れによる被害はどうだったの

か?-震度を防災上どう使うべきか.科学,81 (10): 1055-1060.

- 先山 徹・小林文夫 1998. 屋根瓦の破損からみた神戸 市長田区~北区における1995年兵庫県南部地震に よる被害分布. 地質学論集, (51): 102-112.
- 武村雅之 2003. 1923年関東地震による東京都中心部 (旧15区内)の詳細震度分布と表層地盤構造.日本地 震工学会論文集,3(1):1-13.
- 東北大学理学部地質学古生物学教室 1979.1978年宮城 県沖地震に伴う地盤現象と災害について.東北大学 理学部地質学古生物学教室研究邦文報告,(80):1-97.
- 渡邉敬三・石川廣三 1996. 屋根と壁の構法システム. 261ページ.建築技術,東京.
- 山中浩明・武村雅之・岩田知孝・香川敬生・佐藤俊明 2006. 地震の揺れを科学する一見えてきた強振動の 姿. 185ページ+索引・引用・参考文献8ページ. 東京 大学出版会,東京.
- 吉岡敏和・滝沢文教・高橋雅紀・宮崎一博・坂野靖 行・柳沢幸夫・高橋 浩・久保和也・関 陽児・ 駒澤正夫・広島俊男 2001. 20万分の1地質図幅「水 戸」(第2版). 地質調査所.