

山形盆地に分布する鳥居の既往地震による被害状況について

川 辺 孝 幸*

はじめに

石造鳥居は、地震動などによって外力が加わることで、構造物としての鳥居が変形することによって発生する、素材の材料物性の破壊強度を超える内部応力に、敏感に反映して破壊がおこることから、破壊の場所を記載して応力を発生させた鳥居の変形を復元することで、変形をもたらした外力の方向と、その相対強度を推定することが可能である(川辺, 2007)。

川辺(2007)は、2007年能登半島地震の際に、能登半島において、同地震による鳥居の被害状況の調査をおこない、鳥居の被害の程度が震央距離に対応して低下することや、外力の向きが、推定された発震機構解にほぼ対応した、震央を通る東北東-西南西方向および北北西-南南東方向の線にそう被害度の低いゾーンを境に、それぞれの象限で外力の向きが異なることなどを明らかにした。このことは鳥居の被害が地震動を忠実に反映しており、従って、鳥居被害の面的調査が、揺れの大きさだけでなく、地震の性格を推定する上でも有効であることを示した。また、2007年能登半島地震における鳥居の被害調査では、石川県七尾市や志賀町富来市街、輪島市街、同市道下地区、穴水町市街など、沖積層の厚く発達する地域では、周囲の第三系分布地域より鳥居の被害度が大きいことも明らかになっている(川辺, 2007)。震度と鳥居被害との関係について、2007年能登半島地震では、およそ震度5弱で被害が出はじめ、震度6強で倒壊するものが多くなる。

山形盆地では、地震の際に、中山町長崎など山形盆地の

中央部で、周囲に比べて揺れが大きいことが知られている。その原因として、山形盆地中央部の地下には、軟弱地盤が厚く発達していることが考えられている。筆者は、山形盆地において、既往地震による鳥居の被害状況を調べることで、より具体的に表層の揺れやすさを明らかにすることができるのではないかとこの観点、および、今後起こるべき鳥居に被害をもたらす地震が発生した最における調査の基礎資料とすることを目的で、山形盆地内において鳥居の現状調査をおこなった。以下に、その結果を報告する。

調査方法

鳥居の所在の確認とその記載

調査すべき鳥居については、車載したノートパソコンに株式会社アイ・オー・データ機器製のUSB接続のGPS(USBGPS2)を接続し、ヤフー・ジャパン社製プロアトラスSV5および昭文社スーパーマップルデジタル10などの電子地図を起動させ、両電子地図に記載の神社の所在を確認するとともに、目視によって、所在を確認した。今回は記載用にプロアトラスSV5を使用した。電子地図への記入は、たとえば「100312_13:03熊野神社」のように、調査した年月日時分と神社名を記録する(図1)。年月日時分を記入するのは、記載用紙およびデジタルカメラで撮影したデータとの関係をとるためである。

鳥居の現況記載

各鳥居の記載は、川辺(2007)の記載シートに従って、神社の地名と名称、鳥居の型と方向、素材、各部の損傷状



図1 ヤフー・ジャパン社製プロアトラスSV5による神社の位置の表示と記載の例

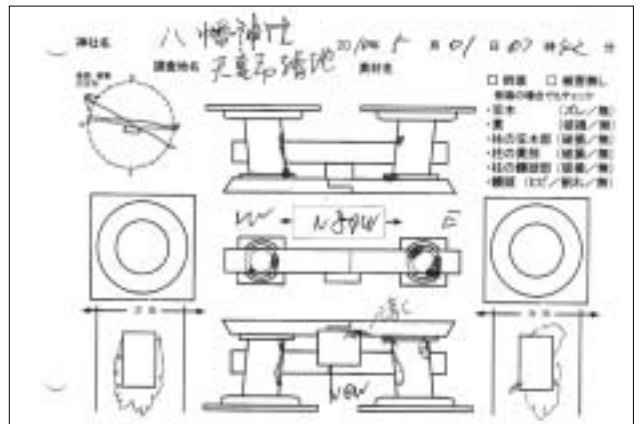


図2 鳥居被害の記載シートの記入例

この例では、鳥居が明神型なのでそのまま記載すればよいが、神明型の場合には、真の断面形状が違っているので、その形状を書き込む必要がある。また、複数の破損履歴がある場合には、色を変えて記入した。

* 山形大学地域教育文化学部

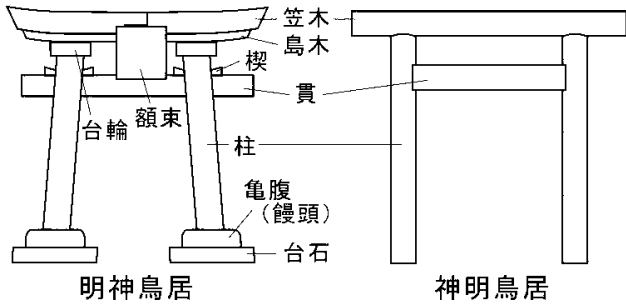


図3 鳥居の2種類の基本型と、各部の名称

況について記載をおこなった(図2)。さらに、鳥居に被害を与えた外力は、極力現場で被害状況を見ながら推定して記入するようにした。

また、鳥居に記載された情報には、建造年月日、寄進者名、製造者名、建造理由などの情報が記載されているものもあれば、情報が無記載のものもあるが、今回は製造年月日について記録した。しかし、建造理由は後述の年代ごとの鳥居の建築頻度の理由を知るために必要であり、また、建造者名は、建造年月日の無記載のもの製造年代の推定する際に、鳥居の形状・素材の特徴を手がかりにできるなどに利用できる可能性があり、少なくとも、建造年月日のほか、建造理由と製造者名を記載する必要がある。

なお、川辺(2007)の記載シートは明神型の鳥居(図3)を想定して作成したが、山形盆地内で実際に調査をおこなってみると、神明型の鳥居の方が圧倒的に多く、とくに貫部の記載をおこなう際にはいちいち貫の形を書く必要が

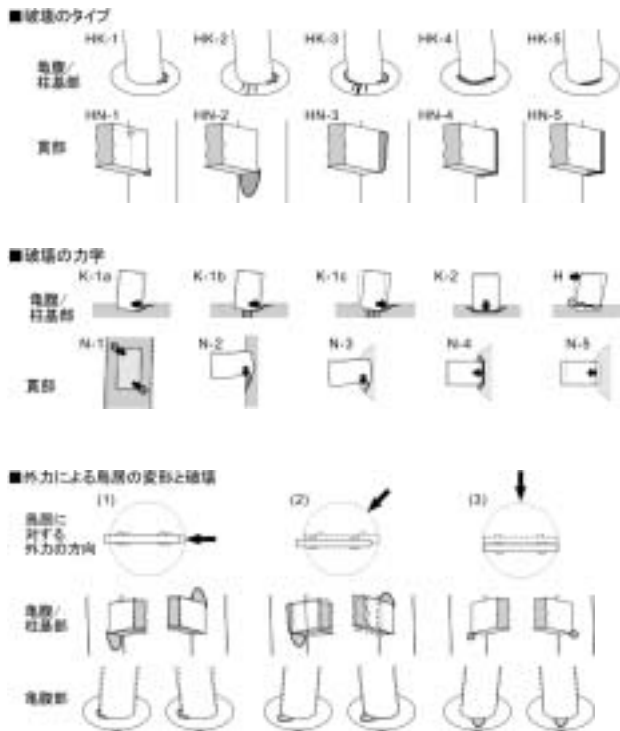


図4 鳥居の各部の破壊のタイプとそれぞれのタイプの破壊をもたらした力学、およびそれらの力学をもたらした外力(川辺, 2007)。

あったので、神明型用の記載シートも用意する必要がある。

鳥居の破損状況と外力との関係

鳥居の破損状況と外力との関係は、基本的に川辺(2007)に従って解析をおこなった。

すなわち、各部の破壊は、その場の応力に従っておこるが、各部位の応力は、構造物としての鳥居が変形することによって発生する、従って、それぞれの部位の破壊をもたらす応力を発生させる構造物としての鳥居の変形を復元することで、各部位の破壊をもたらした外力の方向を復元できる、ということである。

地震の際に、構造物としての鳥居に働く外力は、慣性力である。すなわち、大きい揺れが来る前に静止していた鳥居の地面が大きく揺れ始めたとき、静止していた鳥居には、地面の揺れの方向とは正反対の方向の慣性力が働く。また、地面の大きな揺れが反対方向になるとき、地面の動きに追従して動いていた鳥居に対して、その動きに加えて、反対方向に動く地面の動きの合計の動きが、慣性力として鳥居にかかる。このような結果、図4の外力は、このような慣性力の方向を示しており、実際の地震動記録によって示される地面の動きとは正反対の方向になる。この慣性力によって変形した鳥居各部に発生する応力が、材料の物性強度を超えた時に破壊が起こる。

なお、このような外力による鳥居の変形と各部位の破壊は、土石流による被害や自動車の衝突などによっても発生する。土石流災害の場合には、外力は流下してくる土石流であり、外力の方向と土石流の流下方向は一致する。図5は、2009年中国・九州北部豪雨災害の際に発生した土石流による、山口県防府市右田の剣神社の鳥居の被害状況で、写真右側(西側)からの土石流の襲来によって、貫部を中心に、地震の際の被害と同様な各部の破壊の被害が発生した。

また、2008年岩手・宮城内陸地震や今回の調査では、図4に示す破壊のほか、図6に示すような、柱の中間部や貫部の破断が見られた。破壊は、柱自体の縦曲げ変形および貫による引張応力から始まって起こったと考えられ、これ



図5 2009年中国・九州北部豪雨災害時の土石流による山口県防府市右田剣神社の鳥居の被害状況 写真右側からの土石流の襲来によって変形し、柱の貫部が損傷して落下した。

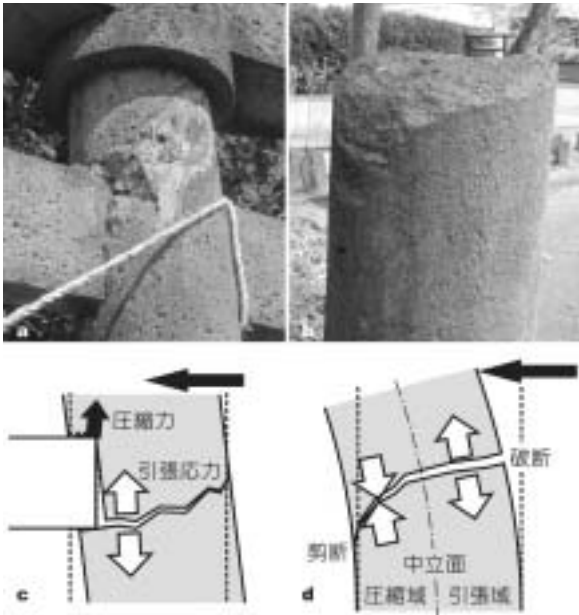


図6 柱の貫部と中央部の破断 (a, b) とそれぞれの力学 (c, d) a: 熊野神社 (中山町大字長崎) の明神型鳥居, b: 古峰神社 (山形市船町) の明神型鳥居の破損状況, c: 柱の貫部では、貫によって梃子の原理で引張応力が働いて破断する, d: 柱の中央部では、柱が縦曲げによって湾曲し、中立面を境に、湾曲の外側には引張応力、内側には圧縮応力が働き、引張応力が材料の引張強度を超えた時点で、応力に直行方向の破断が始まる。破断の進行にともなって、中立面も内側に移動するが、破断が中立面を超えた段階から圧縮応力での剪断破壊に変わり、上方からの加重も加わって、下向きの剪断面が発達する。

らも外力の方向を推定するのに有効である。

調査結果

山形盆地のうち、山形市飯田と菅沢を結ぶ線より北側から東根市六田と河北町吉田を結ぶ線より南側の間に分布する392の神社について調査をおこない、鳥居の無い179を除く313の鳥居について被害調査をおこなった。

鳥居の建造年代

柱等に建造年代が記載されている鳥居139基の年代を示したのが第7図である。1890年代後半から1920年代にかけ

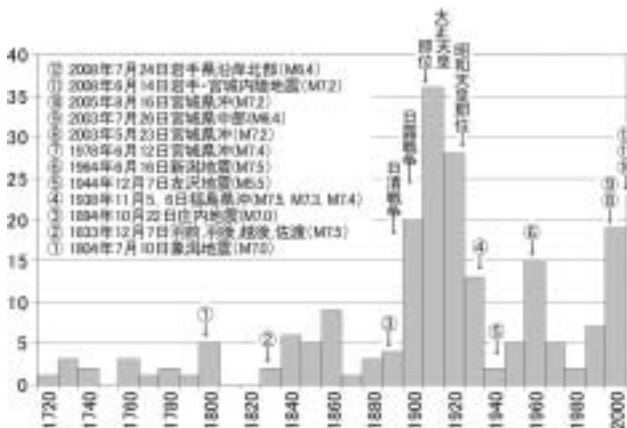
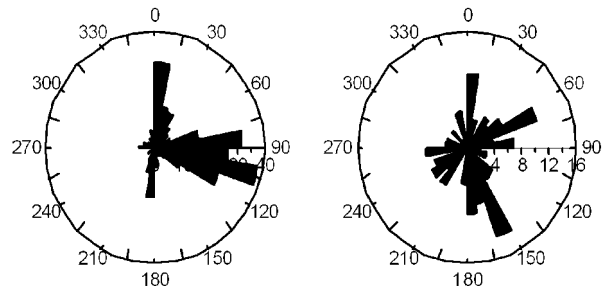


図7 鳥居の建年代と山形盆地のおもな地震、歴史的出来事



鳥居の貫の並びの向き (n=313)

外力の方向 (n=163)

図8 鳥居の貫の並びの向きと破損鳥居の外力の方向 破損鳥居の数163は、全鳥居数313から非石造鳥居数105と無被害数45を引いた数。

て多く建造されているが、天皇即位記念や日清戦争、日露戦争勝利記念などの理由書きが多く見られる。既往地震との関係では、1964年新潟地震を除いてみられない。

鳥居の素材

313基の鳥居のうち、石造鳥居は215基で、残りの98基は木が46基、コンクリートが24基、鉄製が26基、塩ビ管が2基である。石造鳥居215基の石材の内訳は、凝灰岩が126基と最も多く、次いで安山岩が52基、花崗岩が20基、柱状安山岩が15基、泥質片岩が2基である。石造鳥居のほとんどが花崗岩であった能登半島地域と比べると、花崗岩の割合は極めて少なく、山寺石と呼ばれる凝灰岩類や安山岩、柱状安山岩など、地元産の石材の割合が高い。

鳥居の種類

鳥居の種類は、大きく明神型と神明型に分けられる。また、神明型の派生形で、柱の前後に沿え柱=稚児柱を備えた両部型がある。山形盆地では、313基の鳥居のうち、明神型が94基、神明型が189基、両部型が30基であり、神明型が優勢である。神明型の多い理由について、山形大学地域教育文化学部三上英司教授によれば、明神型は神を外から迎い入れるための門であり、神明型はこれより神域であることを示す入り口の門であるとのことである。また、日本の山岳信仰は、西の熊野山と東の湯殿山の二カ所が中心であり、山形盆地はその膝元であることから、中心としての意識が強いことから神明型が多いのではないかと、いうことである。

鳥居の向き

鳥居の向きは、構造物としての長軸方向、すなわち、柱の並び、および貫・笠木の方向で測定し、入り口が東向きの場合、すなわち額束が東を向いている場合を0度として、時計回りに360度で計測した。従って、計測値に90度を足した値が、入り口の方向=鳥居の方向になる。

図8に示す鳥居の向きで特徴的なことは、鳥居のほとんどが80度~120度の方向を示すことで、実際の測定値では、真北補正なしで114度を示すものが多い。その他は0度もしくは180度で、その他の方向のものはほとんど無い。東

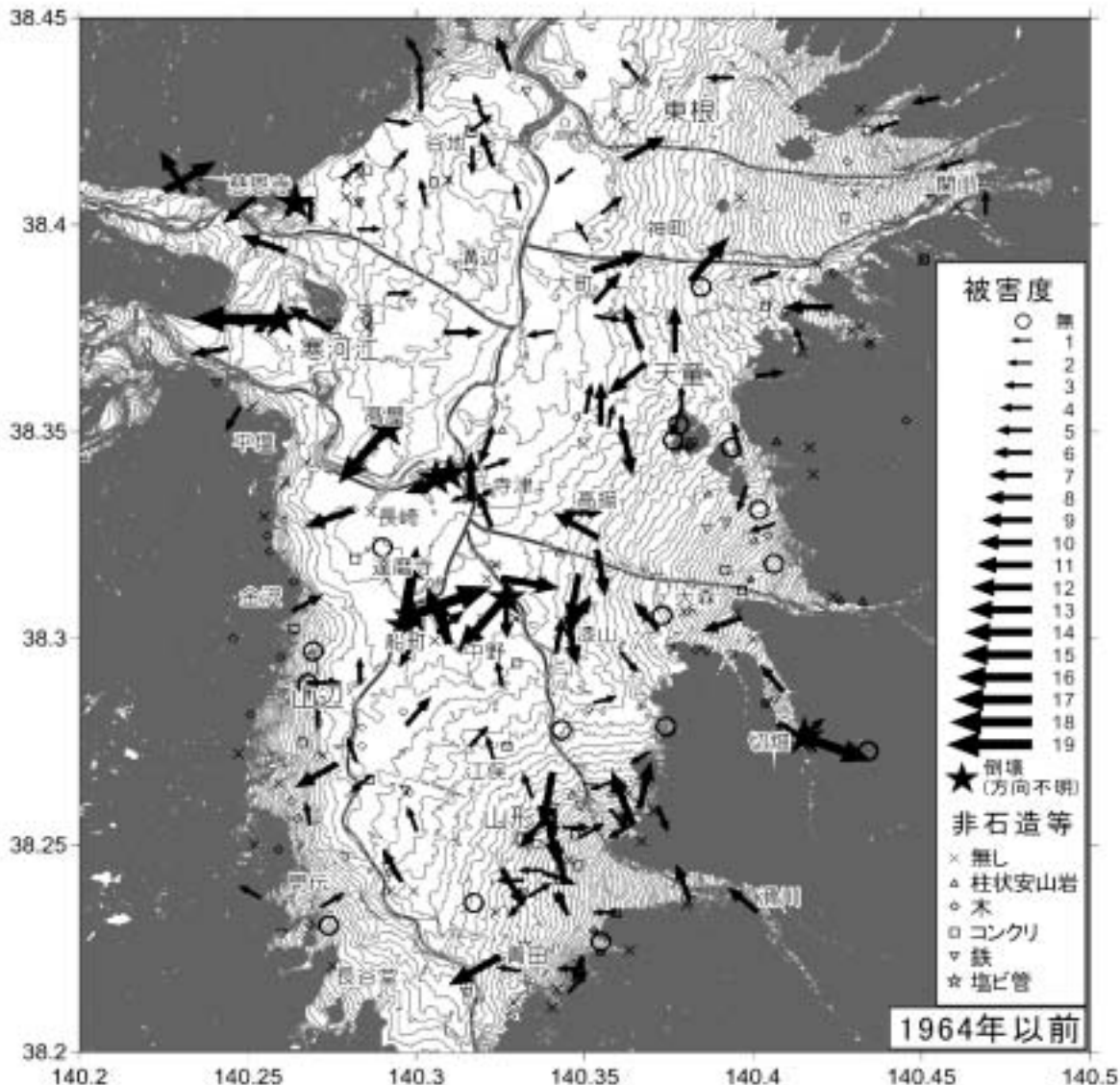


図9 1964年以前建造で古い損傷痕および修復痕のある石造鳥居145基の被害状況 矢印の方向は、鳥居に働いた力の方向を示す。非石造等の数は、2010年4月までの全神社を表示している。

北東方向を除いて、ほぼ全方向を向いている能登半島の場合と対照的である。

計測値が真北補正114度を示す理由について、114度の値を示す印鑰神社の東御門の説明板には、東御門の向きが伊勢神宮の方向を向いていることが記されている。山形から見た伊勢神宮の方向は、実際には南西方向になるが、南南西として建造されている。それ以外の鳥居でも同じ計測値が多いのは、同様の理由によるものかもしれない。

鳥居損傷の状況

山形盆地に分布する313基の鳥居の被害を、表1(川辺, 2007をもとに一部追加)に従って各部の被害ごとに点

数化し、その合計点で求めた被害度と、被害をもたらした最大の力の方向の分布を示したものが図9および図10である。

被害の多くは、柱の貫部の損傷、もしくは柱の笠木部の損傷であり、2007年能登半島地震で多く見られた亀腹部の損傷を受けたものはほとんど見られなかった。

また、亀腹を持たずに直接基礎から立ち上がっている鳥居も多いが、柱の損傷を含めて、柱の基部付近での損傷を受けているものはほとんど無い。

鳥居の損傷年代の推定

損傷を受けている鳥居および1964年～1965年前半にかけ

表1 鳥居の破損部位ごとの点数

被害	亀腹ひび	亀腹割れ	土台ひび	貫部ひび	貫破断	貫落下	笠木部ひび	笠木ずれ	笠木破断	笠木落下	柱破断	倒壊
点数	1	2	3	1	3	2	3	2	3	4	6	10

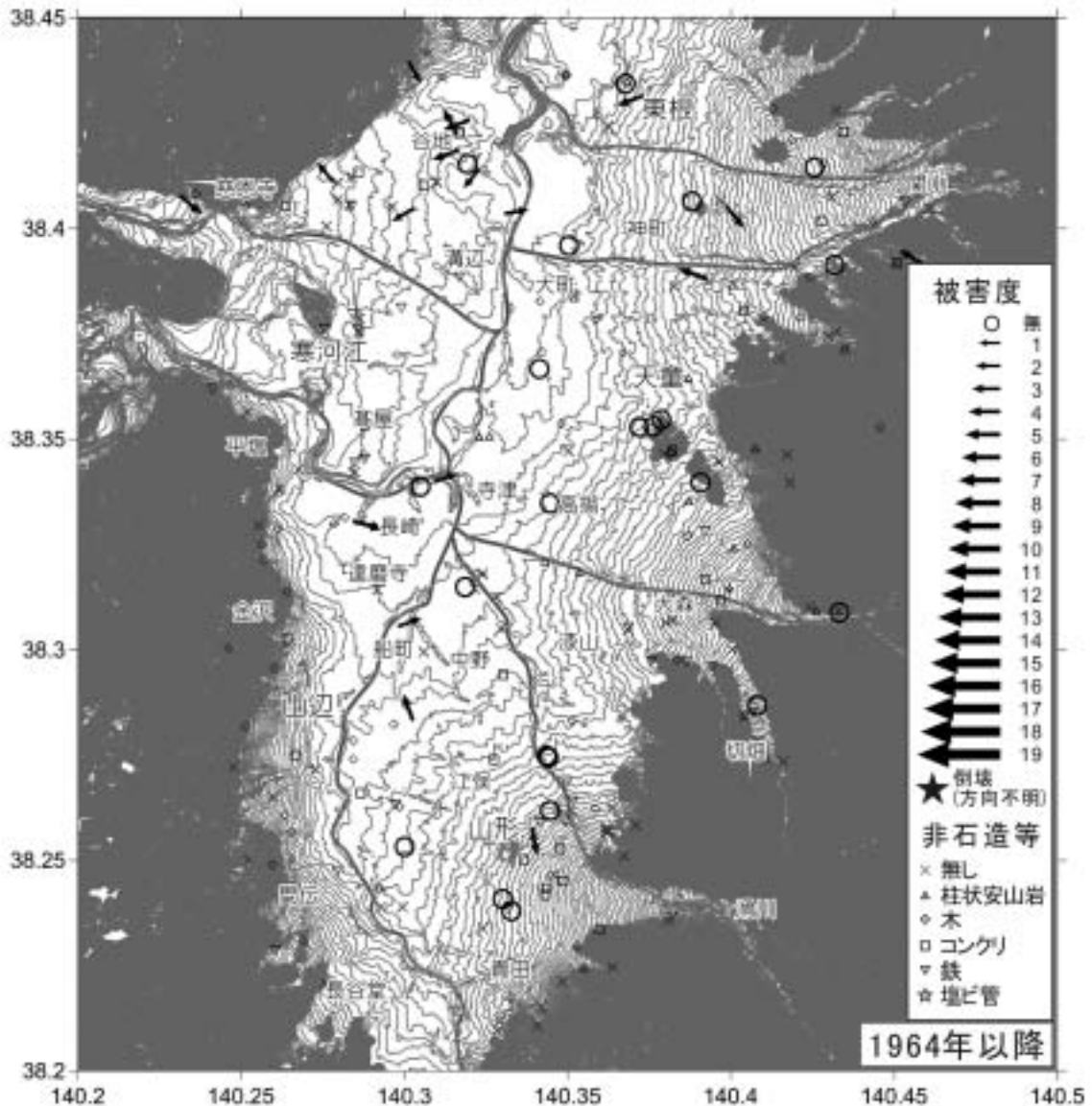


図10 1964年以降に建造の石造鳥居および古い損傷痕に加えて新しい損傷痕を伴う石造鳥居の分布 矢印の方向は、鳥居に働いた力の方向を示す．非石造等の数は、2010年4月までの全神社を表示している．

て再建された鳥居のほとんどは、現地での地元の方々への聞き取りで、1964年新潟地震の際に倒壊もしくは大きく損傷を受けたものであることがわかった。現地での聞き取りでは、さらに、地元の方にとって、新潟地震は、過去数十年間で最も強く起こった地震として印象に残っている地震であることがわかった。山形市の北西部の中野では、田植え直後の水田の水が、北東-南西方向に揺れて、地面が何回か顔を出したことを印象深く語っていただいた。

一方、再建年代がこの範囲以降のものほとんどは自動車事故によるものである。ただし、この年代範囲のものでも、自動車事故によるものが含まれている。損傷鳥居のすべてについて現地で聞き取りできたわけではないので、さらなる聞き取りによる確認が必要である。

また、風化の進んだ古い損傷痕・修理痕を切って発達する損傷痕の見られる鳥居も存在する。それらのうち、天童市乱川の稲荷神社にある、損傷痕を伴う1973年建造、1975

年建造および1985年建造の鳥居3基のコンクリート製鳥居では、いずれも新しい損傷痕が見られるが、1973年および1975年建造の鳥居には古い損傷痕があり、1985年建造の鳥居には古い損傷痕は無く、古い損傷痕は1975年～1985年の間にできたことがわかる。

さらに、調査地域東部の天童市道満の平成15年春に建造された三吉神社の花崗岩製の鳥居に損傷痕が残っていた。地元の方の記憶では、2003年5月23日の宮城県沖地震(M7.2)であり、おそらくこの地震によって損傷を受けたものであると考えられる。

以上のことから、鳥居の損傷を受けた地震は、1964年新潟地震のほか、それ以降の、1978年6月12日宮城県沖地震(M7.4)および2003年5月23日宮城県沖地震(M7.2)の2つの地震があることがわかった。

なお、河北町谷地～寒河江市にかけても1964年新潟地震の損傷痕・修復痕を切って発達する新しい損傷痕があるが、

これらのいずれかによるものなのか、あるいは、それら以外の別の地震によるものかは特定できていない。

鳥居被害度と震度との関係

鳥居のほとんどが花崗岩製である2007年能登半島地震では震度5弱で被害が始め、震度6強の地域で倒壊が卓越する。山形盆地の石造鳥居は多くが凝灰岩であり、花崗岩に比べると凝灰岩の物性強度ははるかに小さいはずであり、2007年能登半島地震の被害と震度との対応関係をそのまま適用することはできない。山形市緑町の山形地方気象台では、1964年新潟地震では震度4を記録しているが、その周辺で、被害度1～2の被害がみられる。従って、凝灰岩鳥居の被害度は、花崗岩鳥居と比べると、震度階で1ランク低い、震度4～5強程度を示していると考えられる。

鳥居の被害分布の特徴

以上のように、石造鳥居に残された古い損傷痕がすべて1964年新潟地震でできた仮定すると、第8図は、新潟地震の震動の強度と方向の分布図になる。

前述の凝灰岩鳥居と震度との関係をもとにすると、1964年新潟地震の際に、山形盆地内では、盆地中央部の中山町長崎周辺から山形市船町、漆山、十文字にかけての立谷川の南側に沿った東西方向に震度5強に達する強いゆれのゾーンがあり、ついで、馬見ヶ崎川や立谷川、乱川などの扇状地の先端部付近に震度5弱程度のゾーンが分布する。また、寒河江市西部から神町にかけての東西方向にも、やや揺れの強いゾーンが認められる。一方、盆地中央部の須川～最上川に沿った地域や、山形盆地西縁断層帯に隣接する山辺町や山形市門伝、河北町中河原～谷地では震度4程度である。盆地東縁の天童市荒谷～上荻野戸、貫津などの立谷川・倉津川扇状地の扇央部～頂部と、舞鶴山などの基盤分布域では、無被害のものも見られ、震度は4以下になっている。

震動の卓越方向では、一般的には南北方向のものが卓越するが、寒河江市西部から東根市神町および上述の中山町長崎～山形市十文字にかけての強震動域では、東西方向の成分が大きくなって、西北西もしくは北東-南西方向の揺れになっている。

このように、山形盆地中央部には軟弱地盤が発達しているために概して揺れやすいと言われていたが、必ずしも一様に揺れやすいわけではないことが明らかになった。おそ

らく扇状地のすきまをうめるように厚い泥質物が分布しているとみられる。今後、盆地内の岩相分布や、盆地の形状、基盤深度など、さまざまな要素を考慮して更に検討する必要がある。

おわりに

山形盆地に分布する神社の鳥居を調査した結果、調査した392の神社のうち313神社に鳥居があり、うち215基が石造鳥居であった。石造鳥居のうち凝灰岩製のものが126基と最も多く、ついで安山岩52基、柱状安山岩15基と、強度的には花崗岩に比べて低いにもかかわらず、地元産の素材のものが卓越していた石造鳥居の多くは、倒壊を含めて損傷痕が残されているが、多くは1964年新潟地震によってできたと考えられる。盆地東縁部では、その後の1978年および2003年宮城県沖地震によるものと思われる損傷痕も認められた。山形盆地中央部では、一様に揺れが大きいのではなく、中山町長崎～山形市十文字と寒河江市西部～東根市神町にかけて東西方向に揺れの地域が分布すること、この地域では揺れの強度だけでなく、方向も東西方向の成分が卓越することがわかった。

以上は、無鳥居の理由および非石造鳥居の建造理由を抜きにして検討した結論であるが、地震で倒壊後、再建されなかったり、より強い素材のものに作り変えた可能性もあり、聞き込みを中心に現地調査をさらに進める必要がある。また、被害と表層地質の関係については、今後検討する必要がある。

なお、今回調査したすべての神社と鳥居について写真を含めてデータベースを作成して公開している (<http://kei.kj.yamagata-u.ac.jp/torii/yamagata/shrine>)。

謝辞: 本研究を進めるにあたって、山形地方気象台には、過去の地震波記録を閲覧させていただいた。山形大学地域教育文化学部三上英治教授には、鳥居についてご教示いただいた。また、現地調査をおこなった地元の方々には、1964年新潟地震当時の貴重な経験談をお聞かせいただいた。記してお礼申し上げます。

文 献

川辺孝幸(2007)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, 5, 379 - 388.