

令和5年奥能登地震 ～地場産業と寺社の被害～

中野 晋¹・蒋 景彩²・白山 敦子³・樫本誠一⁴

¹ 正会員 徳島大学特命教授 環境防災研究センター（〒770-8506 徳島市南常三島町 2-1）

E-mail: nakano.susumu@tokushima-u.ac.jp (Corresponding Author)

² 正会員 徳島大学教授 環境防災研究センター（〒770-8506 徳島市南常三島町 2-1）

E-mail: jiang@ce.tokushima-u.ac.jp

³ 非会員 徳島大学大学院講師 社会産業理工学研究部（〒770-8506 徳島市南常三島町 2-1）

E-mail: atsuko.shirayama@tokushima-u.ac.jp

⁴ 非会員 榎一条工務店 都市開発事業部（〒430-0926 浜松市中区砂山町 354-12）

E-mail: sei-kashimoto@ichijo.co.jp

2023年5月5日に発生した奥能登地震の被害調査を実施した。特に、奥能登地方を代表する地場産業や寺社の被害に注目した。距離減衰式にて珠洲市周辺の最大加速度や計測震度の距離減衰特性を整理した。距離減衰式による推定値は観測値より大きめの値を与えるものの概ね妥当であることを確認した。地場製造業での調査では老朽化した建屋、窯、土壁など耐震性の低い構造物が損傷した。寺社の被害調査からは重心が高い鳥居や鐘楼堂などが強い揺れのために倒壊した。鳥居、鐘楼堂などはいずれも土台との接合部で断裂し、倒壊に至ったことがわかった。

Key Words: *the Oku-noto Earthquake in 2023, damage survey, local industry, temple, shrine*

1. はじめに

2023年5月5日14時42分頃に石川県能登地方を震源とするMj6.5の地震が発生した。震源の深さは12kmで珠洲市で最大震度6強を記録した。石川県の取りまとめによるとこの地震による人的被害は死者1名、負傷者47名の計48名、家屋被害は全壊38棟、半壊263棟など非住家被害も含めて2,156棟に上る。能登地方では2018年頃から活発な地震活動が続いていたが、今回の地震が最大規模の地震となった。

著者らは土木学会や建築学会等の初動調査による速報結果（注1）～注3）、文献1）～3））を参考にして、最も被害の大きかった珠洲市を訪問し、家屋被害、地場産業や寺社の被災状況について調査を行った。この調査は近い将来に発生が懸念される南海トラフ地震に対する防災意識啓発に役立てることを思慮し、本学と「徳島県域における防災啓発推進に関する相互協力についての覚書、2019年4月」を取り交わしている地元テレビ局記者を伴って実施した。

本稿で徳島県内でも特に南海トラフ地震対策が遅れていると考えられる地場産業や寺社被害に焦点を絞って考察する。

2. 地震動の特徴

地盤産業と寺社被害について述べる前に、奥能登地震の地震動の特徴について、防災科学技術研究所が公開しているK-net、KIK-netの強震観測網データや気象庁の報告などを基に、地震動の特徴について整理する。

(1) 地震動分布と距離減衰特性

地震直後に公表された防災科学技術研究所の防災クロスビュー^{注1)}による能登地方での推定震度分布を図-1に示す。気象庁²⁾によるとこの地震は北西—南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で地震規模はMj6.5 (Mw6.2)、震源深さは12km、地殻内で発生した地震であると発表されている（いずれも速報値）。各地点の計測震度は正院で

6.1, 珠洲で5.9, 内浦と大谷で5.5, 穴水で4.5, 輪島と妙高で4.2を記録している. 震源に最も近い珠洲(珠州市折戸町)に比べて, 正院(珠州市正院町)で計測震度が大きくなっている. J-SHISで公表されている地盤増幅率(ARV)を見ると珠州市折戸町付近で0.881, 珠州市正院町付近で1.442であり, 正院町付近が比較的揺れやすい地盤であったことが原因と考えられる.

震源から離れた地点での地表最大加速度や地表最大速度は, 司・翠川⁴⁾の距離減衰式を用いて基盤の最大加速度や最大速度を求め, これに地盤増幅率を乗ずることで地表の最大加速度や最大速度を簡易的に推定することが可能である. 距離減衰式を適用する際には断層最短距離または等価震源距離を用いるが, ここでは分析対象エリアが断層近傍であることを考慮して等価震源距離を採用した. その際の断層面は防災科研が作成した震源過程モデル(地震調査推進本部資料¹⁾の16頁に記載)で滑り量を断層面にわたって一様として取り扱った.

基盤最大速度は距離減衰式の値をそのまま用いるが, 基盤最大加速度は距離減衰式が地表加速度を対象としているため, 式から得られる値を1.4で除して求めた.

地盤増幅率は最大加速度, 最大速度ともに Midorikawa et al.²⁾の式で, J-SHISで公表している深さ30mまでの地表平均S波速度(AVS30)を用いて求めた.

一方, 地表の計測震度は藤本・翠川³⁾が提案した地表最大速度と計測震度の関係を用いると容易に求めることができる.

このようにして求めた等価震源距離と地表最大加速度及び計測震度の関係を図-2(a),(b)に示す. なお, 距離減衰で扱う最大加速度は水平2成分のうち大きい方の値を用いることが一般的であるので, 2成分最大値を示すが, 参考までに3成分合成の地表最大加速度も△で示した. 図中の○記号は地震計による観測値, ●記号は地震計設置位置での推定値を示す. さらに司・翠川⁴⁾の距離減衰式に今回の条件を入れて計算したものを曲線で示す. 観測した地表最大加速度は距離減衰式より小さめの値を示し, どちらかというとも3成分合成最大加速度に近い値を示すことがわかる. 珠洲での地表最大加速度の推定値と観測値はそれぞれ830galと571gal, 正院でのそれは864galと561galで約1.5倍である. 一方, 計測震度については地震計による観測値と推定値は比較的一致が見られる.

(2) 地震加速度・地震速度の経時変化

図-3の加速度経時変化を見ると14時42分24秒から40秒程度揺れが継続しているが, 最初の揺れから約30秒にもパルス的な加速度波形が見られる. 計測震度6.1を記録した正院での最大加速度はEW 465gal, NS 561gal, UD 377gal, 3成分合成676galで, 珠洲ではEW 494gal, NS

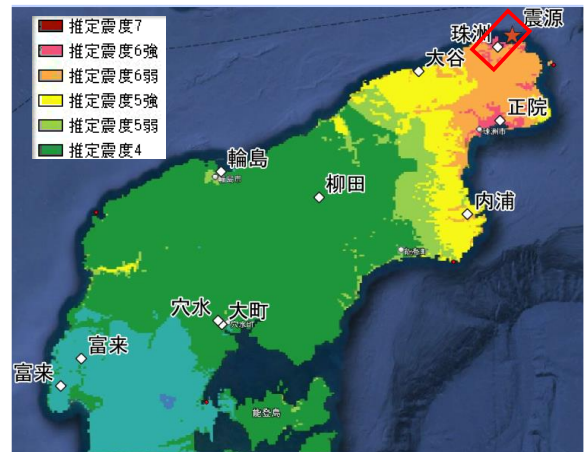
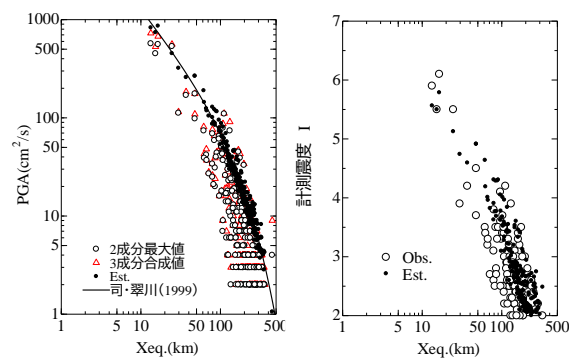


図-1 推定震度分布と地震計設置地点 (防災科研の図を基に再編集)



(a) 地表最大加速度 (b) 計測震度

図-2 地表最大加速度と計測震度の距離減衰特性

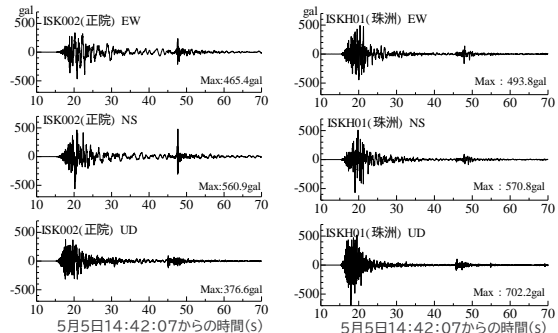


図-3 地表の地震加速度の経時変化 (左: 正院, 右: 珠洲)

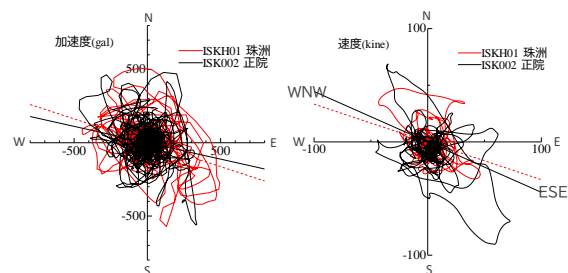


図-4 加速度と速度の水平面内変動

571gal, UD702gal, 3成分合成729galである。震源に近い珠洲笹波では6.6cmの隆起が観測されており²⁾、上下方向の地震活動が特に大きかったものと思われる。

図-4に加速度と速度の水平面内変動を示す。実線及び破線は最小二乗法による卓越方向を示している。あまり明確ではないものの珠洲、正院ともに西北西—東南東方向に軸を持つ加速度及び速度変動が生じたことがわかる。地震による断層面周辺では西～南西方向に最大1cm程度の地殻変動が生じており、滑りが生じる中でこれと直交する方向の揺れが生じていたことをわかる。

(3) 加速度・速度応答スペクトル

加速度応答スペクトルは構造物に対する地震力と関係が深い。図-5の正院の加速度応答スペクトルは周期1.0sで、E-W成分の加速度が1000galを超える値(減衰係数5%)を示す。N-S成分は0.2sと1.0s、U-D成分は0.1sで最大値を示す。図-6の珠洲の加速度応答スペクトルではE-W成分は0.7s、N-S成分は0.3sで最大を示し、U-D成分は0.1sで極めて大きな値を示す。珠洲の加速度応答は正院に比べてより小さな周期でピークを示している。これは正院に比べて珠洲の地盤が比較的固いことが影響していると考えられる。

速度応答スペクトルは地震動が構造物に与える最大のエネルギーを表す指標である。図-7に示す正院の速度応答スペクトルを見るとE-W、N-Sともに1.0~2.5sで大きな値となっている。これは耐震性の低い木造建築物には危険な周期と言える。一方、図-8に示す珠洲はE-Wが0.7~1.2s、N-Sが0.6sと1.2~2.0sにピークがある。家屋被害が正院町周辺で多かった要因は計測震度が大きかったことに加え、周期特性も重要な要素であったと考えられる。

3. 地盤産業及び寺社の被害

(1) 地盤産業被害

奥能登地方の主な産業は農業、水産業、観光業の他、珪藻土を用いた製造業、製塩業、酒造業などの地場産業がある。特に奥能登珪藻土は品質、埋蔵量ともに国内随一でこれを用いた七輪製造は希少性の高い地場産業と言える。また、酒造業も活発で輪島市、珠洲市、能登町の奥能登地方には11の酒蔵がある。今回の調査では珠洲市の七輪製造工場と酒蔵を訪問して、被害とその後の対応についてヒアリングを行った。

a) 七輪製造業

訪問先は珠洲市正院町平床にある工場である。工場の建屋は5度以上傾き、コンクリート床は多くのひび割れが発生した状況であった。2022年6月19日に発生したM_{5.4}の地震で倒壊した窯を再建し、今年1月から利用を

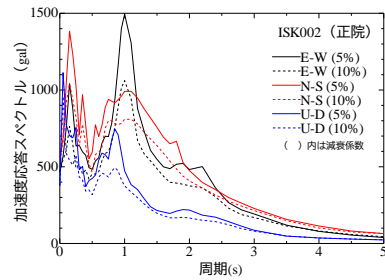


図-5 加速度応答スペクトル (正院)

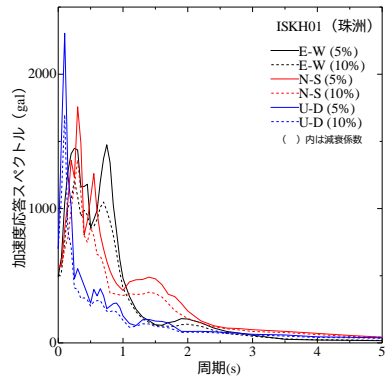


図-6 加速度応答スペクトル (珠洲)

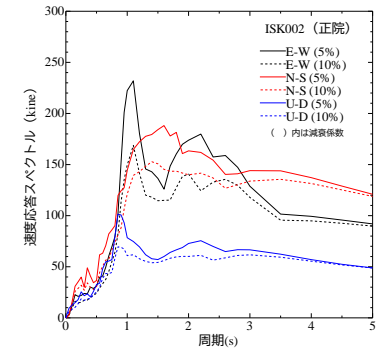


図-7 速度応答スペクトル (正院)

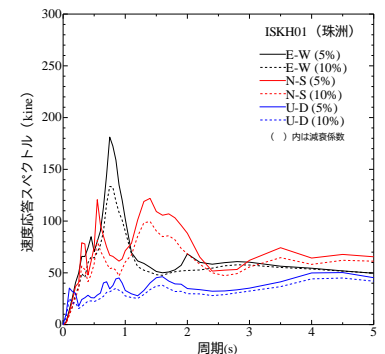


図-8 速度応答スペクトル (珠洲)

始めた窯が屋根が崩落した影響を受けて損壊、窯入れ中の多数の製品も損傷した(写真-1)。距離減衰式を用いて推定した推定計測震度は5.6、推定最大加速度PGAは757gal、推定最大速度PGVは38kineである。工場周辺では液状化による地盤流動化が確認されたほか、老朽化の上に不適切な増改築を繰り返したことも被災要因である。この他、内陸部にある珪藻土切出しの鉱山の一部で落盤

被害が発生した他、内陸部にある第2工場でも窯の一部が損傷した。内陸部の工場被害は比較的軽微であったため、約1週間後の5月14日から仕上げ工程の一部をこの工場で開催している。

b) 酒造業

訪問先は1915年創業の珠洲市蛸島町にある酒造会社で家族4名で酒造りに取り組んでいる。元は地元漁業者向けの酒を作っていたが、10年ほど前から新酒開発を行い、積極的に海外での販路拡大を進めている。被害状況は醸造場・貯蔵庫の建屋で、土壁の一部崩落、柱の断裂などが発生した他、土台に置いただけの貯蔵タンクがずれて傾斜するなどの被害が発生した。製品の損壊は日本酒30本程度と少なかった。震災後に多くの注文が入り、出荷作業に追われているが、新酒の仕込み時期までに被災箇所の復旧を急ぎたいとのことであった。関係する企業や団体からボランティア派遣の連絡があったが、被害が軽微であるため、断ったとのことである。

推定計測震度は5.7、推定最大加速度PGAは811gal、推定最大速度PGVは46kineである。



写真-1 工場の損傷状況 (中央に損傷した窯)



写真-2 傾斜した貯蔵タンク

(2) 寺社の被害

寺社は老朽化が進んだ建造物や重心が高い構築物など耐震性の低い施設が比較的多く、地震時には大きな被害を受けることが多い。今回の地震でも珠洲市内の多くの寺院や神社で被害が発生した。実際に視察した事例と石川県神社庁の資料に基づいて報告する。

a) 寺院の被害

珠洲市正院町にある2つの寺院で写真-3に示すような被害状況を確認した。写真の左側は土蔵の壁が大きく損傷したため、解体している状況で土蔵の半分まで解体が進んでいた。一方、右側の写真は土蔵が壊れた寺院の向かいにある寺院の鐘楼が倒壊している様子で、鐘楼脇の墓石の転倒、楼門の柱の一部損傷も生じていた。防犯カメラによる映像から、地震時には梵鐘が北西-南東軸に揺動していたが、南東方向に揺れた際に慣性力で南東隅（写真では左側奥）の柱基部が折損した結果、倒壊に至っている。図-3に示した加速度の卓越方向と梵鐘の揺動方向は整合的である。比較的周期の長い地震動に梵鐘が共振し、大きな揺れで倒壊に至ったと考えられる。ここでの推定計測震度は5.8、推定最大加速度PGAは860gal、推定最大速度PGVは48kineである。



写真-3 寺院の被害例 (いずれも珠洲市正院町)



写真-4 神社の被害例 (左: 珠洲市正院町, 右: 珠洲市三崎町)

b) 神社の被害

写真-4の左側・神社1では写真に示す手水舎の倒壊の他、一之鳥居(石造)の倒壊、二之鳥居(木造)基部の移動、石灯笼の転倒、社殿や収蔵庫の一部損壊などの被害があった。ここでの推定計測震度は5.8、推定最大加速度PGAは855gal、推定最大速度PGVは48kineである。

写真-4の右側・神社2では写真の通り、海岸の県道沿



図-9 調査場所

いにある一之鳥居(石造)が倒壊し、県道をふさぐ形になった。この他、多数の灯笼や石柱が倒壊している。こ

こでの推定計測震度は 6.0, 推定最大加速度 PGA は 1023gal, 推定最大速度 PGVは 64kineである. 調査地点の中では推定計測震度が最も大きい. また, この鳥居は南南西—北北東に向かう道路に面して建造されており, 鳥居の揺動軸と地震動の卓越方向が一致したことも倒壊に至った一因であろう.

ここまでで述べた被害調査を行った地場産業, 寺院, 神社の位置を図-9にまとめて示す.

c) 鳥居等の倒壊被害

石川県神社庁が整理した神社被害写真では珠洲市, 輪島市, 能登町にある 29 社で被害があったことがわかる. この内, 珠洲市内の神社は 26 社で珠洲市内に被害が集中したことがわかる. この内, 鳥居の被害が確認された神社は 9 社で内 7 社では倒壊している. また灯籠などの石塔が転倒・回転が見られたのは 22 社, 社殿に被害が生じたものは 9 社であった. これは石川県神社庁がまとめた被害写真から確認したものであり, 実際にはもっと多くの神社で被害が発生したものと考えられる.

図-10は鳥居の倒壊があった7社の位置(図中に☆で示す)で, 珠洲市正院町, 同三崎町, 同蛸島町, 同清水町に立地する. 清水町にある1社以外は震源の南~南東側に位置し, いずれも推定最大加速度は 750gal を超えている. なお, 2. (1)で述べたように, 推定最大加速度は実測値の 1.5 倍程度となっており, これを考慮すると 500gal を超える地震加速度により, 鳥居の倒壊が起こったと考えられる.

現地調査を行った神社2の一之鳥居の寸法等を聞き取り結果などを参考に整理した概略図を図-11に示す. この鳥居は柱の上端に台輪がある稲荷鳥居に分類されるが, 写真-4の右側でもわかるように柱の基礎部分にあたる亀腹と柱の接合部で破断した. この鳥居の破断メカニズムを理解するために簡単な静的分析を行った.

概略図に示す寸法と鳥居の材質が花崗岩であることを考えて, 笠木, 島木, 貫の質量はそれぞれ $8.2 \times 10^3 \text{kg}$, $6.6 \times 10^3 \text{kg}$, $9.3 \times 10^3 \text{kg}$, 合計 $24.1 \times 10^3 \text{kg}$ と見積られる. 図-11の右下に示したような鳥居の片側部分を 1 自由度系の振動モデルで表されると仮定すると固有周期は約 0.2s と評価される. なお, 花崗岩のヤング率は 51GPa として与えた⁷⁾. 神社2に最も近い珠洲の加速度応答スペクトルでは鳥居の固有周期に近い 0.2s 付近にピークが見られており, 共振現象が生じた可能性がある.

また, 直径 0.75m で長さ 7.5m の円柱片持ち梁の先端に水平加速度 700gal が作用した際の地震力 ($\alpha M = 8.2 \times 10^4 \text{N}$) を与えて, 亀腹接合部での最大せん断応力及び最大曲げ応力を計算するとそれぞれ 0.187Mpa, 15.0MPa となる. 小原⁷⁾によると花崗岩のせん断強度, 曲げ強度はそれぞれ 17~21MPa, 14MPa であるので, 最大曲げ応力が曲げ強度を上回ることがわかる.



図-10 鳥居が倒壊した神社

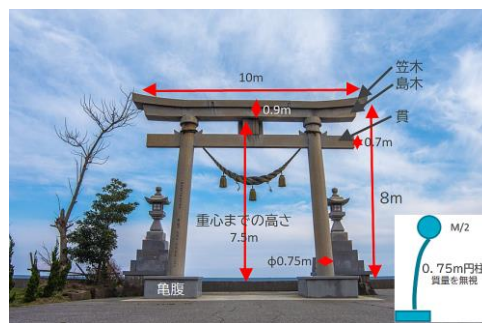


図-11 神社2の一之鳥居の概略図

本来は動的解析等が必要であるが, 簡易的な静的分析からも曲げ応力よるせん断破壊が生じたことが理解される.

4. おわりに

2023年5月5日に発生した奥能登地震による被害調査を実施し, 奥能登地方を代表する地場産業である珪藻土七輪製造業, 酒造業でヒアリングを行った. さらにニュースでもたびたび報じられた寺社の被害に注目した被害実態について調べた. 限られた調査であったが, 次のような結果を得た.

はじめに地震動の特徴について司・翠川⁴⁾の距離減衰式にて珠洲市周辺の最大加速度や計測震度の距離減衰性を整理し, 距離減衰式で推定される値は観測値より大きめの値を与えるものの概ね妥当な値を推定できることを確認した.

地場製造業での調査からは老朽化した建屋, 窯, 土壁など耐震性の低い構造物が損傷した. 七輪製造業では被害の少なかった別工場を利用して早期再開を図った. 酒造業ではタンクが土台からずれて傾くなどの被害はあったものの比較的軽微であったため, すぐに事業継続が行われた.

寺社の被害調査からは重心が高い鳥居, 鐘楼堂, 手水舎が強い揺れのため, 多数の倒壊が発生した. 鳥居は亀腹と柱の接合部, 鐘楼堂や手水舎でも土台との接合部で断裂し, 倒壊に至ったことがわかった.

謝辞：この調査を行うに際し、被災後の復旧対応で多忙の中、ヒアリングなど調査にご協力いただきました事業者並びに寺社関係者に謝意を表す。

NOTES

- 注1) 防災科学技術研究所：防災クロスビュー：令和5年石川県能登地方を震源とする地震，
<https://xview.bosai.go.jp/view/index.html?appid=6ee66425288a4778ac62c517bade15f5>
- 注2) 後藤浩之：令和5年5月5日に発生した石川県能登地方の地震（M6.5）（速報），update 2023/5/7, 6p.,
<http://www.catfish.dpri.kyoto-u.ac.jp/~goto/eq/20230505/report.pdf>.
- 注3) 日本建築学会北陸支部災害連絡部会：2023年石川県能登地方の地震後の初動調査（速報），31p.,
 2023/5/7, http://saigai.aij.or.jp/saigai_info/20230505_noto/2023_noto_yamagishi.pdf.

REFERENCES

- 1) 気象庁：令和5年5月5日14時42分頃の石川県能登地方の地震について，令和5年5月5日16時40分。
<https://www.jma.go.jp/jma/press/2305/05a/kai-setsu202305051640.pdf>, [Japan Meteorological Agency: Regarding the earthquake in the Noto region of Ishikawa Prefecture at around 14:42 on May 5, 2023]
- 2) 地震調査研究推進本部：石川県能登地方の地震の評価，22p., 令和5年5月12日，[Headquarters for Earthquake Research Promotion: Evaluation of earthquakes in the Noto region of Ishikawa Prefecture, 22p., May 12, 2023]
- 3) 石川県：令和5年奥能登地震による被害等の状況について（第56報），2023年7月3日。[Ishikawa Prefecture: Damages caused by the 2023 Oku-Noto Earthquake (No. 56 report), July 3, 2023.]
- 4) 司宏俊・翠川三郎：断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式，日本建築学会構造系論文集，523号，pp.63-70, 1999.[Si, H. and S. Midorikawa: New Attenuation Relationships for Peak Ground Acceleration and Velocity Considering Effects of Fault Type and Site Condition, J. Struct. Constr. Eng., AIJ, No.523, pp.63-70, 1999]
- 5) Midorikawa, S., M., Matsuoka, and K. Sakugawa: Site Effects on Strong Motion Records during the 1987 Chiba-ken-toho-oki, Japan Earthquake, The 9th Japan Earthquake Engineering Symposium, Vol.3, pp.85-90, 1994.
- 6) 石川県神社庁：令和5年奥能登地震被災写真，2023年5月23日，<https://www.ishikawa-jinjacho.or.jp/news/2023年5月5日-珠洲地震被災写真/> [Ishikawa Prefectural Shrine Agency: Photos of the 2023 Oku-Noto Earthquake Damage, May 23, 2023]
- 7) 小原二郎：建築内装技術ハンドブック，596p., 朝倉書店, 1984. [Ohara, J.: Handbook of Architectural and Interior Technology, 596p., Asakura Shoten, 1984.]

(Received July 31, 2023)

Oku-Noto Earthquake in 2023 -Damage to local industries, temples and shrines-

Susumu NAKANO, Jing-Cai JIANG, Atsuko SHIRAYAMA and Seiichi KASHIMOTO

We conducted a damage survey of the Okunoto earthquake that occurred on May 5, 2023. In particular, we focused on the damage to local industries that represent the Oku-Noto region and temples and shrines. We organized the distance attenuation characteristics of the maximum acceleration and measured seismic intensity around Suzu City using the distance attenuation formula. We confirmed that the estimate data by the distance attenuation equation are generally valid although they give larger values than the observed values. Surveys conducted by local manufacturing companies showed that aging buildings, kilns, and other structures with low earthquake resistance were damaged. Damage surveys of temples and shrines revealed that torii gates and bell towers, which have a high center of gravity, collapsed due to strong shaking.