

2007年能登半島地震による能登半島南部地域の墓石・灯籠の変位について

加藤清次¹・柏木健司²・道家涼介³・香川 真⁴・小林裕幸⁵・野村彩香¹・藤川浩一⁴・
田縁陽一⁵・小宮路清孝¹・石若寛子⁴・松井隆志⁵・須田明弘¹・厨井 満⁴・佐伯 孝⁶・
米林 博⁷・野坂泰弘⁴・林 昭司⁴・増山孝幸¹・吉澤杉洋⁴・米丘 誠¹・松元啓輔¹

¹ダイチ株式会社 富山市一本木 259-1
²富山大学大学院理工学研究部（理学） 富山市五福 3190
³富山大学大学院理工学教育部（理学） 富山市五福 3190
⁴共栄興業株式会社 富山市大泉東町1丁目11番13号
⁵株式会社村尾地研 富山市塚原 150
⁶株式会社アーキジオ 高岡市西藤平蔵 581
⁷三和ボーリング株式会社 富山市堀川町 464-2

要 旨

我々は、2007年能登半島地震の地震動の性質を明らかにするために、震央より南の地域で地震の際に変位を受けた墓石と灯籠の調査を行った。それらの変位は、転倒、並進、および回転の三型に区分される。本稿では、墓石と灯籠の転倒について、主として議論を行う。

墓石の転倒率と変位率は、震央から10 km以内でそれぞれ35-61%と76-100%を示す。震央から10~40 kmの地域では、転倒率と変位率は一般に10%以下である一方、震央から約30 km離れている七尾周辺では、転倒率が40-92%とより高い値を示す地域がみられる。特異的に高い値は、周囲を沖積低地で囲まれた丘陵の斜面で計測されている。

円柱灯籠は円形の水平断面を持つことから、地震動の解析に有効である。調査地域は、円柱灯籠の卓越する転倒方向から7つの転倒方向帯に分けられる。これらの転倒方向帯のいくつかは、地形的な特徴に規制される。また、転倒方向は、地盤の水平方向の動きに直接的に影響を受ける。

キーワード：2007年能登半島地震、墓石、灯籠、変位、転倒、転倒率、変位率、K-NET

KATO, Seiji, Kenji KASHIWAGI, Ryosuke DOKE, Makoto KAGAWA, Hiroyuki KOBAYASHI, Sayaka NOMURA, Kouichi FUJIKAWA, Yoichi TABUCHI, Kiyotaka KOMIYAJI, Hiroko ISHIWAKA, Takashi MATSUI, Akihiro SUDA, Mitsuru ZUSHII, Takashi SAEKI, Hiroshi YONEBAYASHI, Yasuhiro NOSAKA, Syoji HAYASHI, Takayuki MASUYAMA, Sugihiko YOSHIZAWA, Makoto YONEOKA and Keisuke MATSUMOTO (2008) Displacement of gravestones and stone lanterns due to the 2007 Noto Hanto Earthquake in the Southern Noto Peninsula, Central Japan. Mem. Fukui Pref. Dinosaur Mus. 7 : 45-66.

We researched gravestones and stone lanterns displaced by the 2007 Noto Hanto Earthquake to reveal characteristics of the ground movement in the southern area from the epicenter. The displacements are classified into three types: overturning, translation, and rotation. In this paper, we discuss mainly the overturning of gravestones and stone lanterns.

Percentages of overturning and displacement rates of gravestones indicate 35-61% and 76-100% respectively in the area within 10 km from the epicenter. Within 10-40 km from the epicenter, their percentages are generally less than 10%, though higher values of 40-92% were recognized in some limited areas of Nanao City and its vicinity, about 30 km from the epicenter. The higher values are measured on the hill slope surrounded by alluvial lowland.

Overturning directions of Enchu-type stone lanterns are more efficient for analyzing ground movement because horizontal section at their base is circular in shape. The study area is divided into seven zones characterized by specific direction of overturning. Some zone boundaries are controlled by topographic features. The directions of overturning are directly controlled by horizontal ground movements.

2008年4月14日受付、2008年11月25日受理。

Corresponding author—Seiji KATO

Daichi Inc.

259-1, Ippongi, Toyama-shi, Toyama 930-0904, Japan

E-mail : s-kato@daichikk.co.jp (*を半角@に変えてご入力ください)

はじめに

震災時における人工構造物の変位調査は、1891年の濃尾地震以来、これまで多くの地震に際して行われてきた（大橋ほか、1978など）。地震計による観測網が十分でなかった時代には、墓石の転倒率や変位率、転倒方向等は、震央位置や地盤の揺れの方向、加速度の大小等について、有用な情報を提供してきた。一方、1995年兵庫県南部地震以降、地震計による広域かつ密な観測網が急速に整備され（独立行政法人防災科学技術研究所、2008）、地震の諸性質が高精度かつ急速に解析されるに至っている。

一方、墓石や灯籠を含む人工構造物は、地震計よりもはるかに高密度に分布し、言い換えると、あらゆる地形および地盤条件の場に存在する。そのため、面的かつ高密度なデータを提供しうる可能性を持ち、異なる地形地盤条件下における地震動の相違を明らかにする上で、重要な示唆を与える。また、地震計データと効果的に組み合わせることにより、相互補完的な地震動の性質の把握が期待される。

以上の観点から、筆者らは2007年能登半島地震に際して、地震発生一週間後の3月30日から4月29日の約1ヶ月間にわたり、主として震央より南の富来-七尾以南の地域を対象に、人工構造物の変位調査を行った。本稿では、そのうちの墓石と灯籠の変位を対象に、転倒方向、転倒率、および変位率を報告し、地盤と地形との関係について議論を行う。なお、富来-七尾以北の地域に関しては、柏木ほか（2007a）で予察的に報告されている。

能登半島地震

能登半島地震は、2007年3月25日9時41分57.9秒に能登半島西岸沖（石川県輪島市門前町南西約10km）で発生した、震源深さ11kmでマグニチュード6.9の地震である（気象庁、2007；2008）。地殻変動観測から北東-南西走向（N55E）で、南東に傾斜する右横ずれを含む逆断層（傾斜角度63度）の震源断層モデルが推定されている（国土地理院、2007）。石川県と富山県内における、気象庁（以下、図中で「JMA」と略記）、独立行政法人防災科学技術研究所、および自治体地震計による震度分布に基づくと、石川県輪島市、穴水町、田鶴浜で震度6強、能登町、富来、中能登町で震度6弱、七尾市と珠洲市で震度5強、羽咋で震度5弱が、富山県では震度4～5弱が記録されている（Fig. 1）。三成分合成の最大加速度は、防災科学技術研究所が設置した強震計のK-NET穴水（ISK005）とK-NET富来（ISK006）で900galを超える。石渡（2007）は能登半島全域にわたる墓石の転倒率の測定を行い、倒壊率が50%を超える地域が能登半島西海岸の富来から門前を経て富来から北へ約20kmの皆月までに限られることを示し、七尾や羽咋では転倒率が20%以下であることを示している。また、富来から北西へ約5kmの震源に近い箇所で、転倒率100%の墓地を報告している（石渡、2007）。

能登半島南部の地形・地質

本州中部から北に突き出した能登半島のうち、今回の調査範囲にあたる能登半島南部の地形は、中央の邑知潟低地帯、およびその北西と南東の丘陵地からなる（Fig. 2）。邑知潟低地帯は、北東-南西方向に全長約30km、幅約3kmで伸びる。その北西と南東縁には、低地帯の伸びと平行に逆断層が存在する（太田ほか、1976；活断層研究会、1991）。低地帯北西側の丘陵地は、標高400m以下の比較

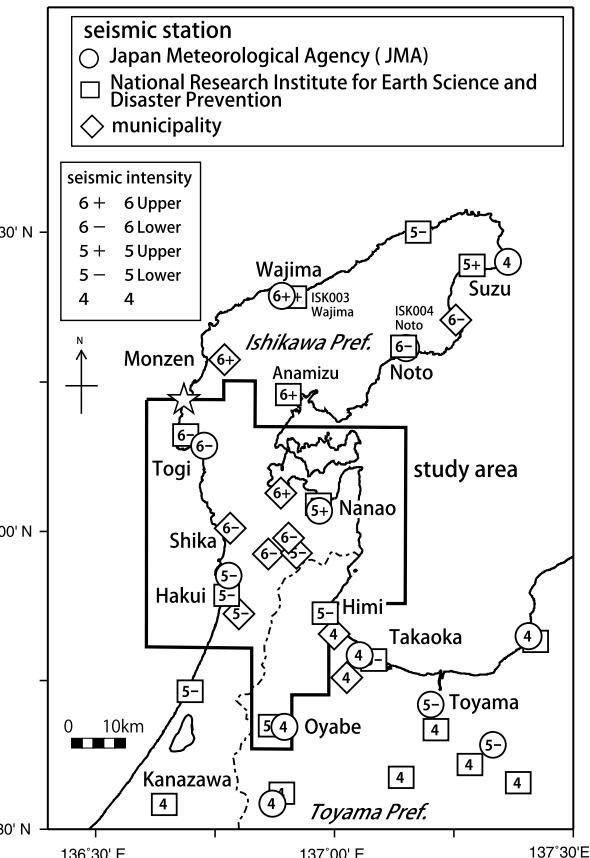


FIGURE 1. Distribution of the earthquake seismic intensity shocked by the Noto Hanto Earthquake in 2007, and a location of the study area. A star shows the epicenter. The earthquake seismic intensities are based on Japan Meteorological Agency (2007).

的緩やかな地形をなし、南東側の丘陵地には宝達山（標高637m）や石動山（標高565m）がそびえる。また、数段の海成段丘面が、能登半島西岸沿いの富来北部から志賀町にかけて断続的に発達する（太田・平川、1979）。

能登半島南部の大部分を構成する地層は、新第三紀に形成された火山岩類と堆積岩類である（紹野ほか、1992）（Fig. 2）。火山岩類からなる岩稈累層は、邑知潟低地帯の北西方に広く分布する。海成層を主体とする新第三系堆積岩類は、調査範囲に広範囲に露出する。また、能登半島西岸沿いには、第四系の砂丘堆積物が分布する。先第三系基盤岩類は、船津花崗岩と飛騨変成岩類からなり、宝達山に比較的まとまって分布するとともに、石動山の西方から北西方にかけても小規模に露出する。

計測対象の人工構造物

調査対象は、人工構造物のうち墓石と灯籠を主とし、石碑や神社の標柱等も含まれる。

墓石は、全体の形態に基づき和型墓石、オベリスク型墓石、供養塔（五輪塔、無縫塔、多層塔）、および洋型墓石に分けられる（Fig. 3A-G）。和型墓石は、墓地や靈園で最も多く見られ、一般的に下位から芝石、中台、上台、スリン、棹石で構成され、構成部分の一部が省かれるものもある。オベリスク型墓石は、一般に和型墓石よりも長身で細長い

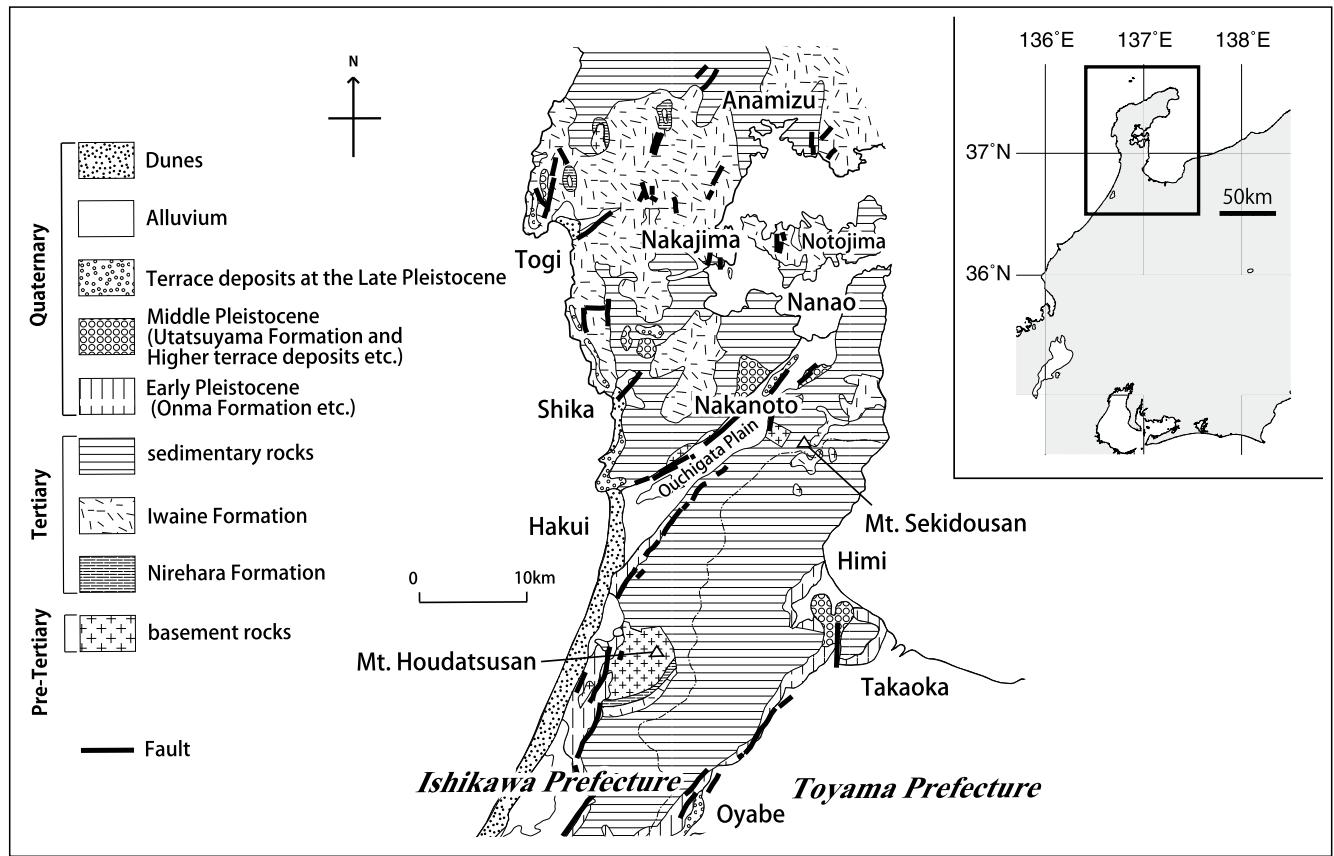


FIGURE 2. Geological map of the Southern Noto Peninsula modified after Kaseno et al. (1992). Bold lines are active fault traces based on the Research Group for Active Faults of Japan (1991).

棹石で特徴付けられる。和型墓石とオベリスク型墓石は、正方形の水平断面形状を示す棹石を持つ。無縫塔は、中台の上に円形水平断面をもつ塔身がのり、基礎と中台の間に竿を挟むものもある。五輪塔は、正方形や円形水平断面を持つ構成物からなる。多層塔は、基礎の上に正方形の水平断面を持つ構成物がのり、この上に屋根が積み重なる。また、各々の屋根の間に、直方体の台を挟むものもある。洋型墓石は、和型墓石と比べて、広い幅と低い背で特徴づけられ、幅広の長方形の水平断面形状を示す棹石を持つ。

和型墓石の構造について、棹石とその下位のスリンなし上台の継ぎ合わせは、モルタルで接着されているか、何も使用されていない場合が多い。しかし、近年の地震による墓石の被害対策として、継ぎ合わせに耐震用のジョイント金具、接着剤または粘着材等が施されているものがある(市村ほか, 2006)。市村ほか(2006)は、和型墓石の振動実験で、震度6弱では無対策の墓石とこれらの耐震墓石はともに転倒しなかったが、震度6強では、無対策の墓石は転倒したが、耐震墓石は転倒しなかったことを報告している。このように、耐震墓石と無対策墓石は、地震時に異なる挙動を示すものの、地震対策は墓石の構成部位の継ぎ合わせ部分の不可視部に施される場合が多く、耐震墓石と無対策墓石との識別は困難である。ただし、上述のような地震対策は、過去に地震による被害を受けた墓石、および近年に設置された墓石のみに施されていると考えられ、過去に地震により大きな被害を受けていない地域や、相対的に古い墓石については、その多くは地震対策が施されている

いと考えられる。

灯籠は、円柱灯籠、角柱灯籠、常夜灯、雪見灯籠、および墓前灯籠に区分される(Fig. 3G-L)。円柱灯籠は、基本的に上位から宝珠、笠、火袋、中台、竿、および基礎で構成される。竿は円柱状で円形の水平断面を示す。角柱灯籠と常夜灯は、正方形の水平断面の竿を持つ。雪見灯籠は、竿と基礎を欠くとともに、中台の下には3~4本足の脚があり、一般に全体の高さは低い。墓前灯籠は、墓石の前方左右に対しづらし付隨し、竿の水平断面形状により丸墓前灯籠と角墓前灯籠に区別される。灯籠を構成する各部材のほとんどは、継ぎ合わせにモルタル等を使用、または、何も使用されずに積み上げられている。

変位の用語

墓石・灯籠の変位について、ここで扱う変位とは、転倒、回転、および並進を指す。転倒とは、墓石・灯籠の構成部位の落下を指す。この転倒には、非転倒部位の上面を回転または並進をした後、最終的に落下したものも含まれ、経路は問わない。回転は構成部位の向きの変化を、並進とは構成部位の向きの変化を伴わない位置の変化を指す。回転と並進とは、いずれも最終結果の状態を示しているものであり、途中で複数の回転、並進が含まれているかどうかは問わない。非変位は、目視で転倒、回転、および並進が認められないものを指し、構成部位の目地のモルタル等が破壊されているものも含まれる。

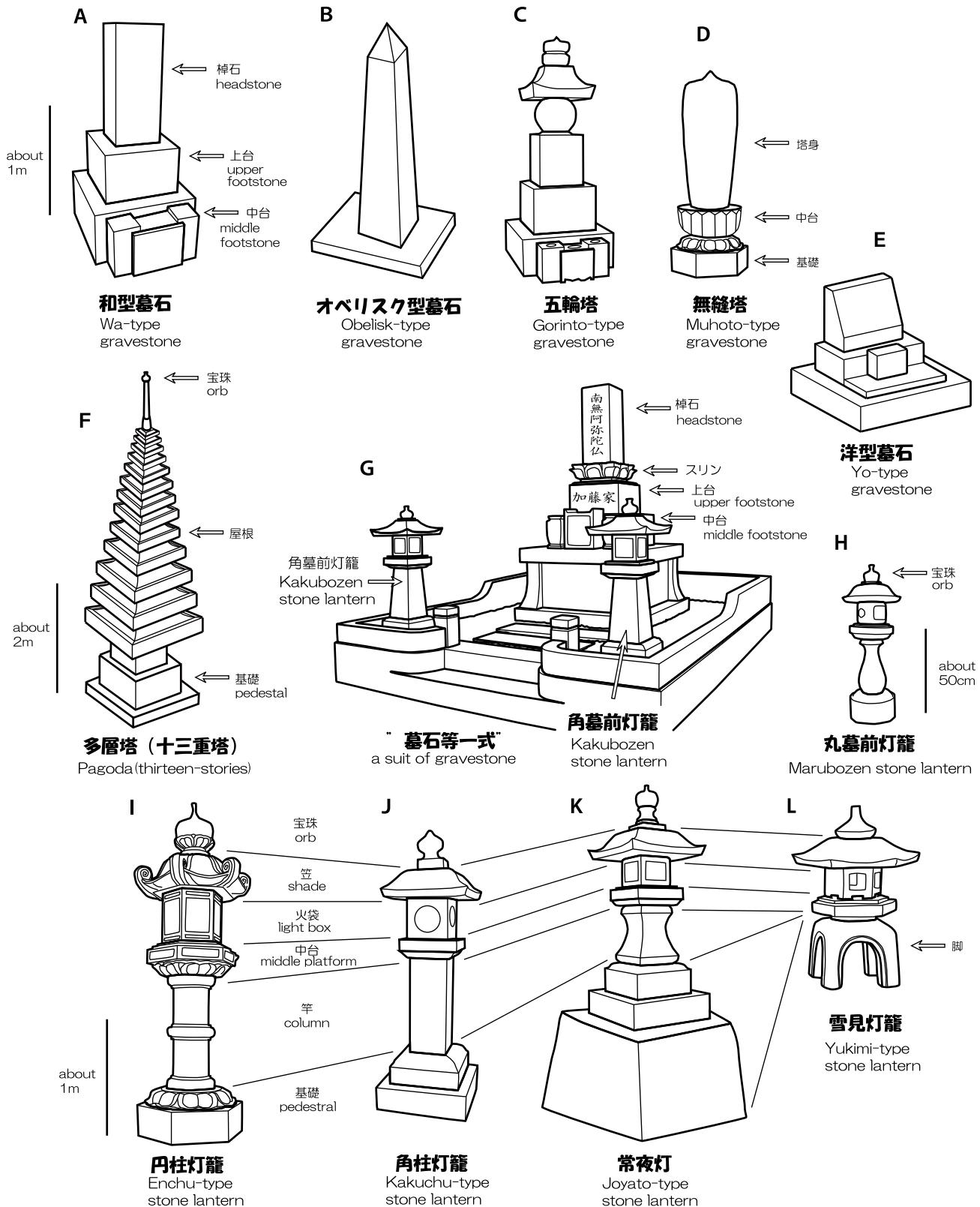


FIGURE 3. Typical shapes of Japanese-style gravestones and stone lanterns as the subject of the study. Wa-type gravestone is the most general and typical one as Japanese-style, and is composed of headstone and footstones in general. Obelisk-type gravestones had been used for dedication of serviceman. Some other gravestones such as Gorinto-type, Muhoto-type, and Pagoda ones are not general at present. Yo-type gravestone is modern and like European-style. It begins to spread recently, but is not general yet. Bozen stone lanterns are occasionally arranged in front of a gravestone. Stone lanterns are divided into Enchu-type, Kakuchu-type, Joyato-type, and Yukimi-type ones by differences of overall appearances and horizontal section shapes of column. The Enchu-type, Kakuchu-, and Joyato-type stone lanterns consist of orb, shade, light box, middle platform, column, and pedestal from upper to lower. The horizontal section shape of the column of Enchu-type stone lantern is circular. Kakuchu-type and Joyato-type ones are square. Yukimi-type stone lantern consists of orb, shade, light box, middle platform, and leg from upper to lower.

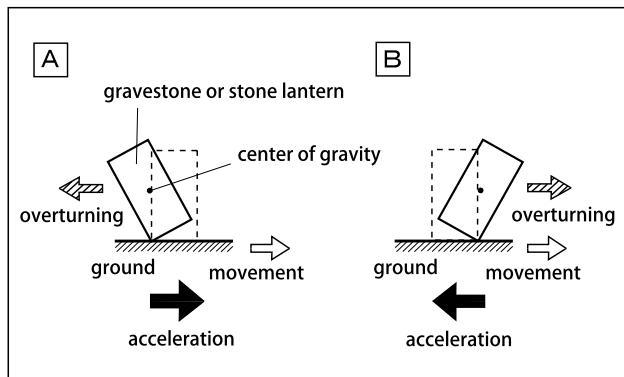


FIGURE 4. Concept diagram of overturning due to eathquake. A. When a ground is accelerating due to eathquake, a gravestone or stone lantern on the ground is overturned in the ground movement counter direction. B. When the ground is decelerating, gravestone or stone lantern is overturned in the ground movement same direction.

このような変位について、澤田ほか（1998）は、振動台実験と3次元DEM解析により、墓石の回転方向が、回転する加速度粒子軌跡の逆向きであることを明らかにしている。墓石・灯籠の転倒は、水平変位との関係では、地盤の任意の方向の水平変位過程において、加速中は地盤変位と逆方向（Fig. 4A）に、減速中は地盤変位と同じ方向に生じると考えられる（Fig. 4B）。従って、墓石・灯籠の転倒方向は、地盤の水平変位方向に対して、変位方向とこれと逆向きの2方向を示すと考えられる。

調査内容

調査対象である墓石、灯籠、石碑、標柱のうち、本稿では、墓石・灯籠の調査結果について報告する。調査項目は以下の通りである。

墓石・灯籠の変位—変位（転倒・回転・並進）の認められる墓石・灯籠について、転倒方向、回転角度、並進方向等をクリノメーターを用いて計測した。このうち、転倒方向の計測に際しては、被転倒構造物の位置とともに周辺地盤や構造物に付けられた打撃痕（柏木ほか、2007b）等を用いて計測した。また、転倒した墓石や灯籠において、非転倒構造物上面にしばしば観察される、転倒構造物の転倒の際に付けられた擦痕についてもその方向を計測した。

墓石調査は、和型墓石、オベリスク型墓石、無縫塔、および多層塔を測定対象とし、2007年3月30日から2007年4月19日にかけて実施した。灯籠の調査は、円柱灯籠、角柱灯籠、常夜灯、雪見灯籠、および墓前灯籠を測定対象とし、3月30日から4月29日にかけて実施し、調査の大部分は4月19日までに終えている。

本稿では、転倒方向について、これらの墓石灯籠のうち、和型墓石、オベリスク型墓石、円柱灯籠、角柱灯籠、および常夜灯について詳述する。また、擦痕については、円柱灯籠について詳述する。

墓石の転倒率と変位率—転倒率は、転倒した墓石の墓石総数に占める割合を指す。墓石総数は、観察した墓石の合計数を指す。変位率は、構造物の回転と並進、および転倒した墓石の合計数の、観察総数に占める割合を指す。すなわち、転倒率は変位率の内数になる。また、測定時に修理が進んでいる箇所があり、既に修理済みのもので転倒や回

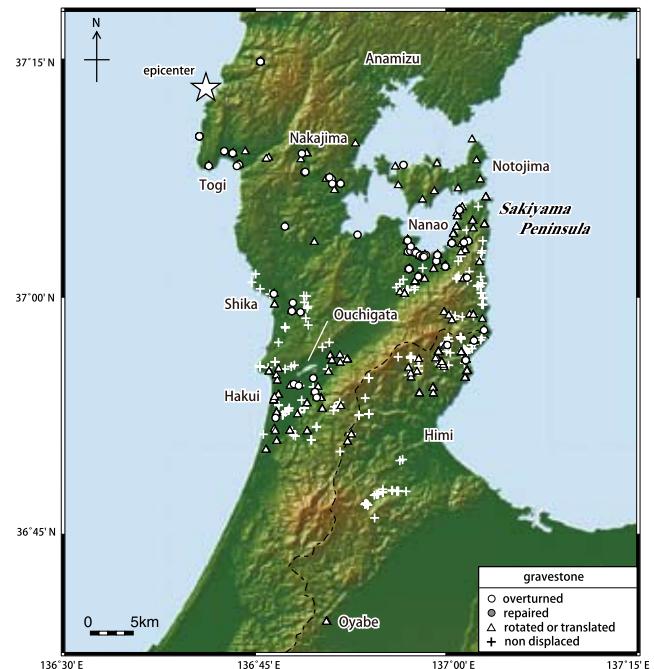


FIGURE 5. Distribution of researched gravestones in the Southern Noto Peninsula. Shaded relief map is drawn using 50 m mesh DEM Geographical Survey Institute (2001) .

転、並進の判別がつかない場合は総数より除外した。従って、計測された転倒率と変位率は、地震直後の計測に得られた値より低い値を示している可能性があり、下限値を示すと考えられる。また、修理の有無は、周辺地盤や構造物につけられた打撃痕、転倒時に欠けたと考えられる破片、墓石に塗布された新しい接着剤、または、住民や修理業者からの聞き取り等により判断した。

転倒率と変位率の算出に際して、同一集落内の墓石総数が20に満たないものは調査結果からは除外する。ただし、同一集落内の半径500m以内に点在する墓石の総数が20を超える場合、および1つの集落に点在する墓石の総数が20を超えるものは、それぞれ合計数を1箇所のデータとして扱う。また、隣接する計測箇所、または近傍で複数計測した箇所については、便宜的に半径500m以内の計測箇所のデータの合計数を1箇所のデータとして図示する場合がある。墓石の転倒率と変位率の計測は112箇所にわたり、このうち6箇所については転倒率のみ測定した。

墓石の転倒率と変位率の測定は、洋型墓石を除く和型墓石、オベリスク型墓石および供養塔を対象とし、3月30日から4月19日にかけて実施した。測定した墓石のほとんどは和型墓石で、オベリスク型墓石と供養塔はわずかであるため、大局的には墓石の形態の差異による影響は少ないと考えられる。

墓石の変位（転倒・回転・並進）

墓石の転倒—震源から震度6強～震度5弱を示す、富来、志賀、羽咋、中島、および七尾の地域で、墓石の転倒がしばしば認められる（Figs. 1, 5）。呂知潟低地帯北東縁に位置する七尾周辺では、海岸付近の低地で転倒が優勢である。また、崎山半島東岸沿いでは転倒はほとんど認められ

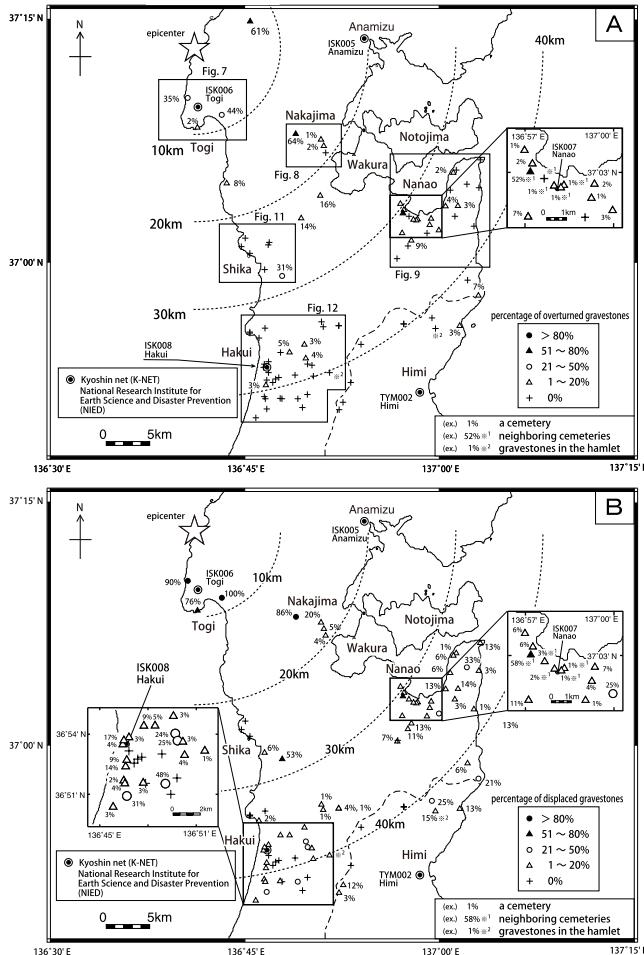


FIGURE 6. A, Percentage of overturned gravestones in the Southern Noto Peninsula. B, Percentage of displaced gravestones in the Southern Noto Peninsula.

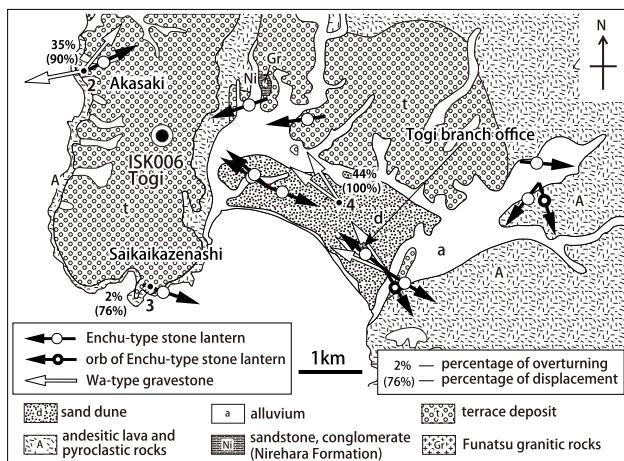


FIGURE 7. Percentage of overturned and displaced gravestones with overturning directions of Enchu-type stone lanterns and Wa-type gravestones in Togi. The based geological map is modified after Kaseno (1993).

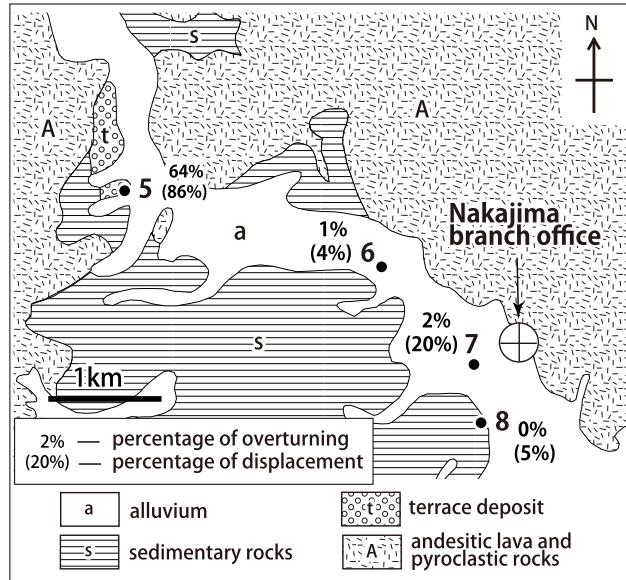


FIGURE 8. Percentage of overturned and displaced gravestones in Nakajima Town. The based geological map is modified after Kaseno (1993).

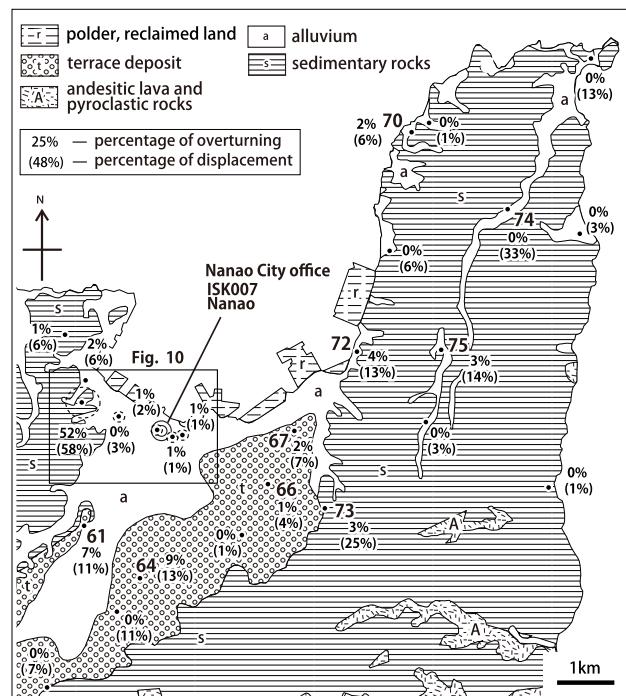


FIGURE 9. Percentage of overturned and displaced gravestones in Nanao City. The based geological map is modified after Kaseno (1993).

ず、氷見北部でわずかに見られるのみである。邑知潟低地帯南部に位置する邑知潟周辺では、その南方で転倒が見られる。

墓石の回転・並進回転と並進は、富来から羽咋、氷見にかけて散在し、転倒箇所ではほぼ同時に見られる。羽咋、七尾東方の丘陵地、および氷見北部では、回転と並進箇所は転倒箇所より多い。

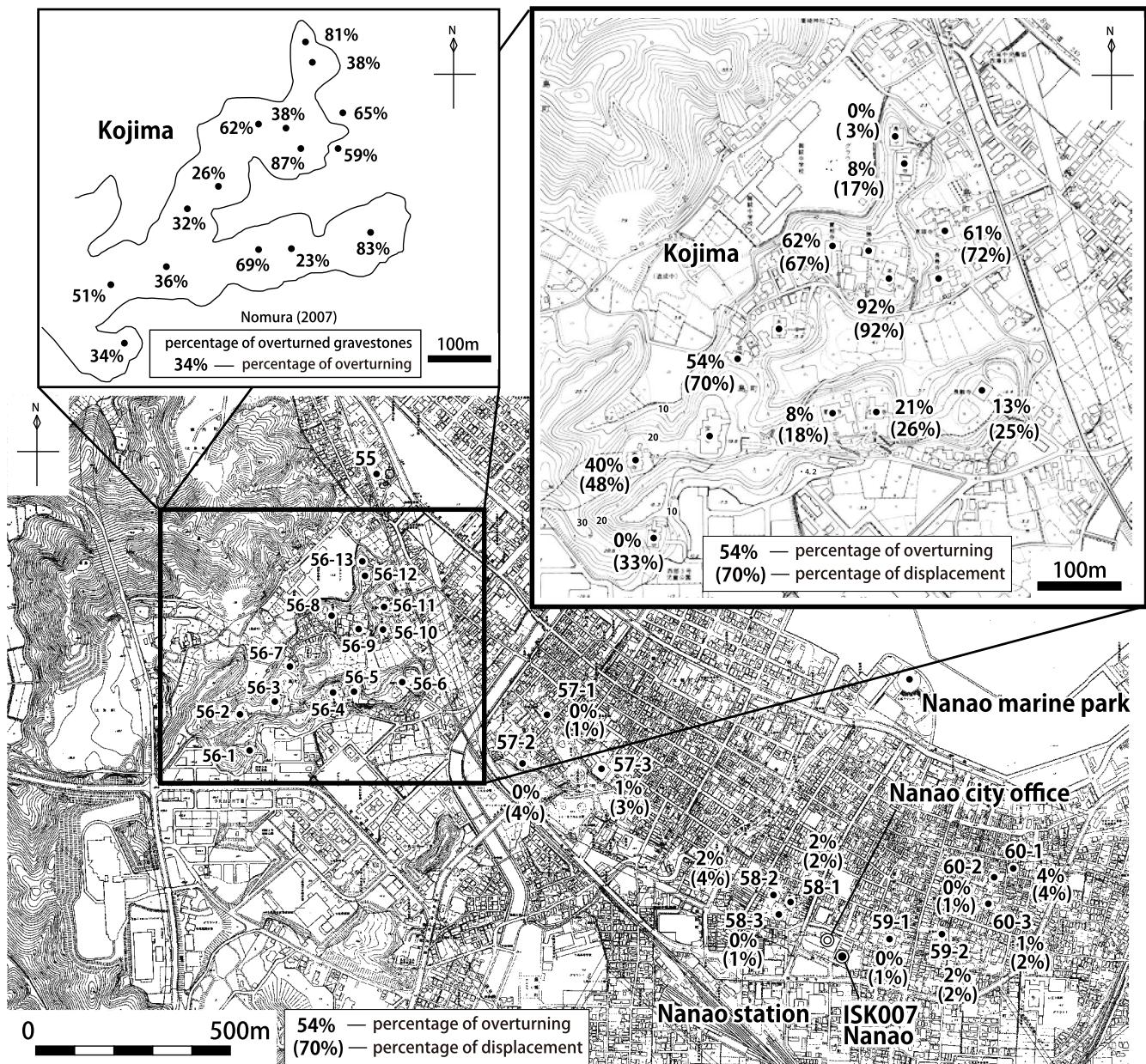


FIGURE 10. Percentage of overturned and displaced gravestones in Nanao City. The base map is 1 : 2,500 topographic map of Nanao City.

墓石の転倒率および変位率

転倒率—転倒率は、震央からの距離が約 10 km 以内で 35–61% と高く、10 ~ 40 km で数% 以下と低くなる。このうち、前者では、富来の一部で 2% と特異的に低い転倒率を示し、後者では中島で 64% と七尾の一部で 40–92%，志賀で 31% と、特異的に高い値を示す箇所が認められる (Fig. 6A)。

以下、震央から 10 km に満たないが、特異的に低い転倒率を示す富来と、震央から約 10 ~ 40 km 離れているにも関わらず、特異的に高い転倒率を示す中島、七尾、および志賀について記述する。

相対的に震央に近い富来における転倒率は、段丘上の赤崎と西海風無でそれぞれ、35% と 2% で、砂丘上の富来

支所付近で 44% を示す (Fig. 7)。計測地点は、赤崎が段丘面縁辺の斜面上で、西海風無が平坦な段丘面上に位置する。

中島は震央から 15 ~ 20 km に位置し、そこで転倒率は、丘陵地縁辺の 2 地点で 0 と 64% を、低地の 2 地点で 1 – 2% を示す (Fig. 8)。転倒率 0% を示す Loc. 8 は、中島の北西から南東に広がる谷底低地南西方の丘陵地縁辺に位置する。一方、転倒率が 64% を示す Loc. 5 は、丘陵地縁辺から北東方向に伸びる幅約 100 m で長さ約 500 m の尾根のうち、先端部の幅約 100 m で長さ約 200 m の小丘状の東側斜面の法尻付近に位置する。

震央から南東に 30 ~ 35 km 付近の七尾の転倒率は、七尾市街地をとりまく段丘と丘陵地において概して数% 以下を示す一方で、七尾市役所から北西に約 1.5 km 離れた

TABLE 1. List of displaced gravestones in Kojima Town of Nanao City. Displacement includes overturning, translation, and rotation.

Loc. no.	Locality (temple)	number of gravestones	number of overturned gravestones	number of rotated and translated gravestones	percentage of overturned gravestones (%)	percentage of overturned, rotated and translated gravestones (%)	landform	remarks
55	Myokanin	53	1	2	2	6	low land	
56-1	Jotsuji	6	0	2	0	33	hill	
56-2	Sainenji	52	21	4	40	48	hill	
56-3	Hodoji	185	—	—	—	—	hill	mostly repaired
56-4	Ryumonji	40	3	4	8	18	hill	
56-5	Tokuoiji	92	19	5	21	26	hill	
56-6	Choreiji	8	1	1	13	25	hill	
56-7	Jorenji	37	20	6	54	70	hill	
56-8	Jissoji	55	34	3	62	67	hill	
56-9	Hongyoji	170	156	1	92	92	hill	
56-10	Chojuji	34	—	—	—	—	low land	many repaired
56-11	Eigenji	71	43	8	61	72	hill	
56-12	Chokoji	12	1	1	8	17	hill	
56-13	Myokokuji	30	0	1	0	3	hill	
57-1	Kaikanji	169	0	2	0	1	low land	
57-2	Saikoji	171	0	7	0	4	low land	
57-3	Kotokaji	136	1	3	1	3	low land	
The sum of 56-1~13 except for 56-3 and 56-10		573	298	36	52	58		

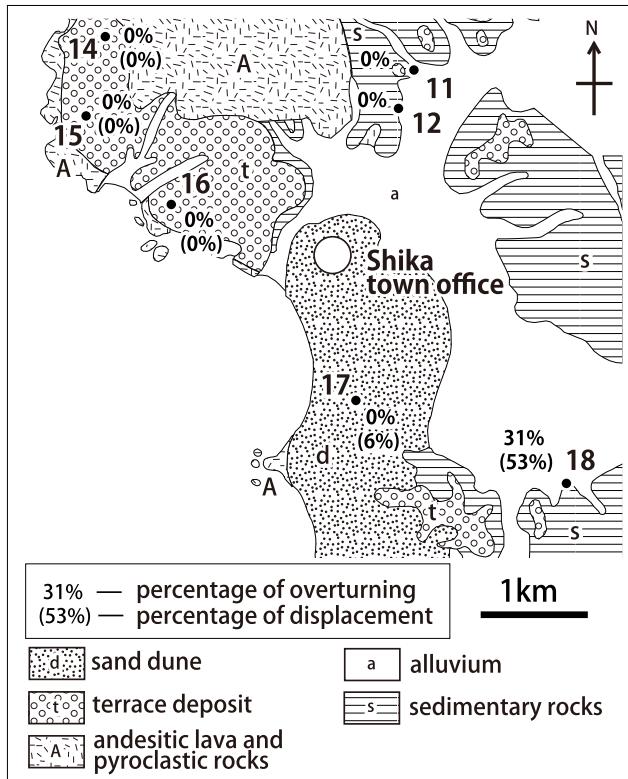


FIGURE 11. Percentage of overturned and displaced gravestones in Shika Town. The based geological map is modified after Kaseno (1993).

丘陵地では所々で 40-92% と高い値を示す (Figs. 9, 10). この丘陵地は、七尾の北西から南西に広がる丘陵地の縁辺にあたり、そこから幅約 100 m で長さ約 500 m の尾根が北東と東北東の 2 方向に伸びる。北東に伸びる尾根上の寺

院において、墓石の転倒率は尾根の先端方向に向かって、40%, 54%, 62%, 92% となり、尾根先端の斜面法尻付近で 61% となる (Fig. 10, Table 1). 一方、東北東に伸びる尾根では転倒率は 8-40% とややばらつく。また、北東に伸びる尾根の先端から北に伸びる尾根上の寺院の転倒率は数%以下と低い値を示す。これらの尾根上の寺院では、野村 (2007) が墓石の転倒率について報告をしている。本調査箇所の Locs. 56-1, 56-4, 56-6, 56-12, および 56-13 の墓石総数は、野村 (2007) が示す墓石総数の 40% 以下となる。これは、Locs. 56-1 ~ 56-13 の調査日が 2007 年 4 月 11 日で、既に墓石の修理が始まっており、転倒率の算出では修理済みのものは計測から除外したことによる。また、Loc. 56-7 と Loc. 56-10 の墓石総数は、それぞれ野村 (2007) の 57% と、67% にとどまり、他の箇所では約 80-140% となる。墓石総数が野村 (2007) の約 70% 以上の箇所の転倒率は、野村 (2007) の結果に概ね調和的である。一方、墓石総数が野村 (2007) の 57% の箇所 (Loc. 56-7) の転倒率は、野村 (2007) より約 20% 高い値を示し、40% 以下の箇所 (Locs. 56-1, 56-4, 56-6, 56-12, 56-13) の転倒率は、野村 (2007) の転倒率より 30-70% 低い値を示す。

志賀は震央から南南東に 25 ~ 30 km 付近に位置し、そこで転倒率は海成段丘面上の 3 地点と砂丘上の 1 地点で 0%, 丘陵地縁辺の 3 地点で 0ないし 31% である (Fig. 11). 転倒率が 31% の Loc. 18 は、丘陵地縁辺から北へ伸びる幅約 100 m で長さ約 400 m の尾根先端部の斜面に位置する。また、丘陵地縁辺に位置する他の 2 地点の Locs. 11, 12 における転倒率は 0% で、それぞれ丘陵地縁辺から南東に伸びる約 100 m 幅で約 300 m 長の尾根の先端部東側と丘陵地縁辺に位置する。

変位率—変位率は、震央からの距離が約 10 km 以内で 76-100% と高い。10 ~ 40 km では、全体的に数%から十数%と低くなるが、20% を超える箇所も数箇所で認められる。また、震央から約 60 km 離れた小矢部の変位率は、1 箇所の計測で 11% を示す。中島、七尾、志賀、および羽咋では、一部で 48-92% の高い変位率が認められる (Fig.

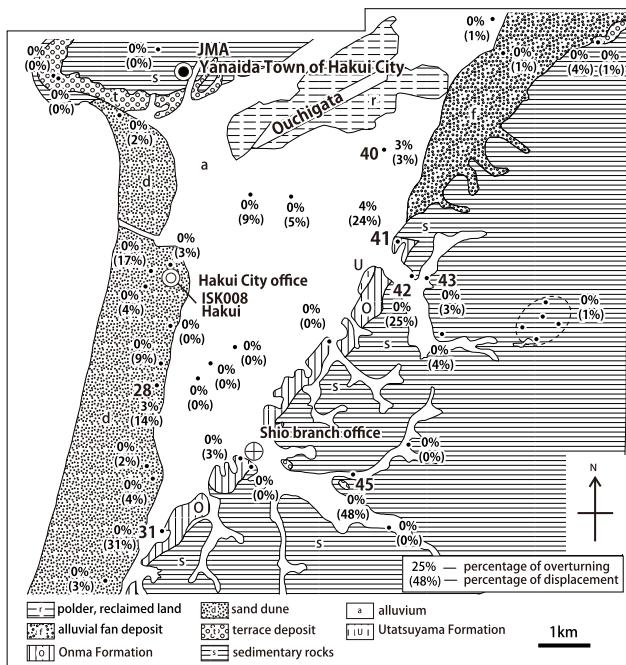


FIGURE 12. Percentage of overturned and displaced gravestones in Hakui City. The based geological map is modified after Kaseno (1993).

6B). 以下では、震央から約10～40 km離れているにも関わらず、特異的に高い変位率を示す中島、七尾、志賀、および羽咋について詳述する。

中島での変位率は、丘陵地縁辺の2地点で5%と86%で、低地の2地点で4%と20%である。高い転倒率を示すLoc. 5で、同様の高い変位率が認められる。低地中のLoc. 7では、転倒率が低い一方で、変位率が高い。

七尾における変位率は、低地、段丘、および丘陵地縁辺付近で、数%から十数%を示す。このうち、丘陵地縁辺のLoc. 73とLoc. 74の変位率は、それぞれ25%と33%と高い一方、同地点での転倒率は数%以下と低い。また、特異的に高い変位率を示す箇所は、特異的に高い転倒率を示す尾根付近と同一地点である。この尾根上の変位率は、北東に伸びる尾根上の寺院において、48%, 70%, 67%, 92%となり、尾根先端の斜面法尻付近で72%となる。一方、東北東に伸びる尾根の変位率は、48%, 18%, 26%, 25%である。また、北東に伸びる尾根の先端から北に伸びる尾根上の寺院の変位率は3%と17%である。

志賀での変位率は、海成段丘面上の3地点で0%、砂丘上の1地点で6%、および丘陵地縁辺の1地点で53%である。志賀では、墓石の変位の示標となる転倒率と変位率とともに、志賀町役場から北方で0%と低い値を示す一方、南方の1地点(Loc. 18)で高い転倒率と変位率が見られる。

羽咋における変位率は、段丘、砂丘、低地、および邑知潟南方に広がる丘陵地縁辺付近で、概して数%以下を示すが、丘陵地縁辺の3地点(Locs. 31, 41, 42)で24-31%、および丘陵地を開析する河川沿いの低地に位置するLoc. 45で48%を示す(Fig. 12)。Loc. 31は、丘陵地縁辺から南西に伸びる幅約100 mで長さ約350 mの尾根先端の斜面法尻付近に位置する。Loc. 41は、丘陵地縁辺から南西に伸びる約100 m幅で約400 m長の尾根上に位置する。

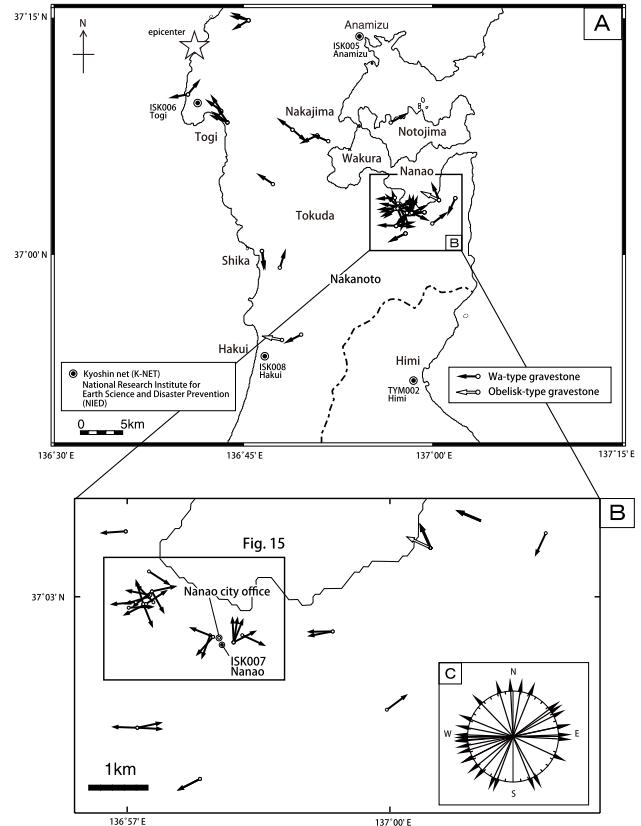


FIGURE 13. A. Overturning directions of Wa-type and Obelisk-type gravestones in the Southern Noto Peninsula. B-C. Overturning directions of Wa-type and Obelisk-type gravestones in Nanao City and adjacent area.

Loc. 42は、幅約200 mで長さ約300 mの小丘状地形先端の斜面下に位置する。ただし、Loc. 42に同じような小丘状地形の先端斜面に位置するLoc. 43は、3%と低い変位率を示す。Loc. 43は、丘陵地縁辺の幅と長さが約100 mの小丘状地形の斜面上に位置する。

墓石の転倒方向

墓石の転倒方向は、52基の和型墓石と2基のオベリスク型墓石で計測した。以下、和型墓石とオベリスク型墓石について述べる。

和型墓石一和型墓石の転倒方向は全体にはばらく(Fig. 13A)。転倒方向を計測した52基のうち、50基の転倒方向は辺の向きに概ね平行で(Fig. 14A, B, C)、1基の転倒方向は辺の向きに斜交する。前者のうち、転倒部位の底面が非転倒部位の表面近傍にある5基で、転倒部位底面の辺に沿う転倒を確認できる(Fig. 14B)。また、52基中の1基は、写真と非変位部位の記載が無いため判別不能である。これらの転倒方向の全体に占めるその割合は、辺の向きにほぼ平行な転倒方向で96%、辺の向きに斜交する転倒方向で2%、判別不能が2%を占める。以下、地形ごとに転倒方向に違いが認められる富来と七尾の転倒方向について記述する。

富来において、和型墓石の転倒方向測定箇所は、富来支



FIGURE 14. Field occurrences of displaced Wa-type and Obelisk-type gravestones. Directions of overturning of Wa-type and Obelisk-type gravestones are due to their horizontal sections as square. A-C, Overturning of Wa-type gravestones. D, Rotation of Wa-type gravestone. E, Translation of Wa-type gravestone. F, Overturning of Obelisk-type gravestone.

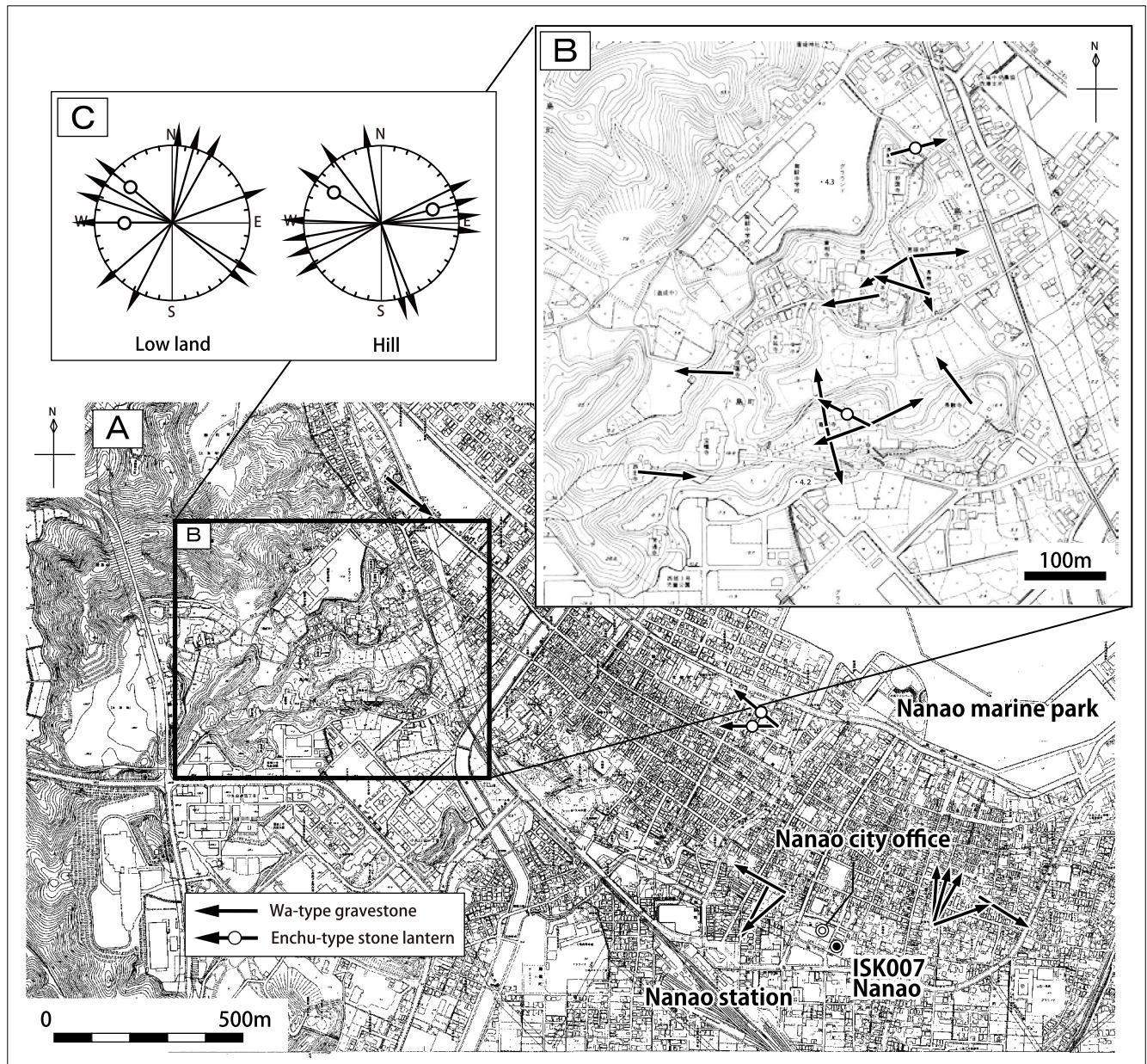


FIGURE 15. A-B, Overturning directions of overturned Wa-type gravestones and Enchu-type stone lanterns in and around Nanao City. The base map is 1 : 2,500 topographic map of Nanao City. C, Overturning directions of overturned Wa-type gravestones and Enchu-type stone lanterns on the lowland and hill.

所付近と富来北西部の赤崎付近である (Fig. 7). これらの測定箇所は、それぞれ砂丘上と段丘上に位置する。砂丘上の転倒方向は北北西から西北西である。また、段丘上の2基の転倒方向は、北東と西南西である。計測数は少ないものの、地形ごとに転倒方向に違いが認められる。砂丘上の北西方向の転倒方向は、後述する近傍の砂丘上の円柱灯籠のそれと調和的である。

七尾周辺における転倒方向は、ほぼ一様にばらつく (Fig. 13B, C)。低地と丘陵地における転倒方向は、ある程度の角度の幅をもつ4~5の方向帯に概ね分けられるが、卓越方向は認められない (Fig. 15C)。低地と丘陵地における転倒方向はそれぞれ概して直交関係にある。これは、墓石

の転倒部位である棹石の底面がほぼ正方形をなしているためと判断される。

オベリスク型墓石—転倒方向を測定したオベリスク型墓石の測定箇所は2箇所2基で、羽咋と七尾でそれぞれ1基である (Figs. 13A, 14F)。羽咋での転倒方向は西北西で、七尾での転倒方向は西北西である。七尾の西北西の転倒方向は、後述する同じ寺院内の2基の円柱灯籠の西南西と南東の転倒方向と約40から約170度で大きく斜交する。

その他の墓石—和型墓石とオベリスク型以外に、無縫塔 (Fig. 16A) と多層塔 (Fig. 16B) の転倒方向を計測しているが今回は詳述しない。



FIGURE 16. Field occurrences of various types of gravestones and stone lanterns. A, Overturning of Muohoto-type gravestone. B, Overturning of pagoda (thirteen-stories). Red arrow shows some rotated roofs. C, Overturning of Yukimi-type stone lantern. D, Overturning of Kakubozan stone lantern. E, Overturning of Marubozan stone lantern.

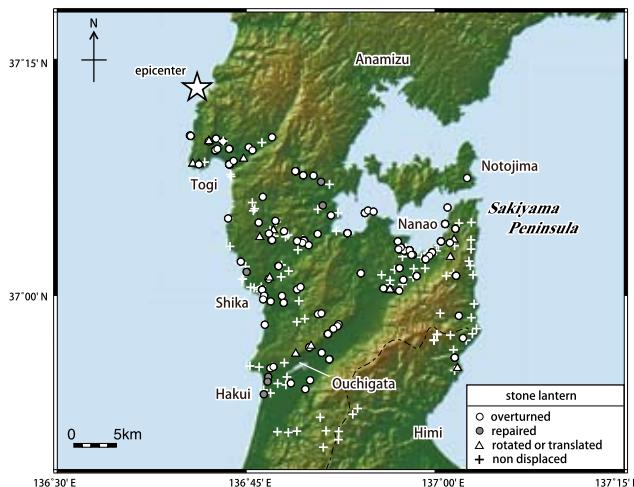


FIGURE 17. Distribution of researched Enchu-type, Kakuchu-type, Joyato-type, and Yukimi-type stone lanterns in the Southern Noto Peninsula. Shaded relief map is drawn using 50 m mesh DEM Geographical Survey Institute (2001).

灯籠の転倒および転倒方向

灯籠の転倒—墓前灯籠を除く灯籠の転倒は、震央から南南東—南東方向に約30～40 km離れた羽咋から七尾まで見られる(Fig. 17)。これより南方では非変位が優勢で、転倒は能登半島東岸の氷見北部でわずかに見られる。七尾周辺では、七尾市街地から崎山半島西側の海岸沿いで転倒が目立ち、崎山半島東側の海岸沿いでは転倒は認められず非変位である。邑知潟周辺での産状は、邑知潟西方で非変位が、邑知潟北東方で転倒が優勢である。また、邑知潟の南方に広がる丘陵地では、丘陵地の北西側縁辺の数箇所で転倒が認められる。また、灯籠のうち、円柱灯籠と常夜灯の転倒は、震度6強から震度5弱の地域にほぼ限られる。以下では、各々の灯籠ごとに、その状況について詳述する。

転倒した円柱灯籠は92基で、これらのうち76基は基礎より上部が(Fig. 18A)、6基は竿より上部が、1基は中台より上部が、3基は宝珠のみ(Fig. 18B)が転倒している。また、6基はすでに修復または撤去されていたため、それらの転倒部位は不明である。基礎より上部の転倒は震央付近から約40 kmにかけて、竿より上部の転倒は震央から約25～40 km、中台より上部は約35 km、宝珠のみの転倒は約15～30 km離れた位置でみられる(Fig. 19A)。

角柱灯籠の転倒は2基で、転倒部位はともに基礎より上部である(Fig. 19B)。

常夜灯の転倒は45基で、このうち23基は基礎より上部が(Figs. 20A, 20B)、15基は竿より上部が(Fig. 20C, D)、3基は中台より上部が転倒している(Fig. 20E)。また、4基はすでに修復または撤去されていたため、それらの転倒部位は不明である。基礎より上部の転倒は、震央付近から約30 kmにかけて、竿より上部の転倒が震央から約10～30 km離れた位置でみられ、その大部分が約20 km以上離れた位置にある(Fig. 19B)。また、中台より上部が転倒した地点は、震央から約30 km離れている。

円柱灯籠、常夜灯、および角柱灯籠の転倒は、ともに基礎より上部が最も多く、全体に占める割合は、円柱灯籠で

83%、常夜灯で51%となる。竿より上部の転倒の割合は、円柱灯籠で7%，常夜灯で33%である。また、中台より上部の転倒の割合は、円柱灯籠と常夜灯とともに数%となる。

竿より上部の転倒は、円柱灯籠と常夜灯とともに、震央より約20 km以上離れた和倉-徳田-志賀より南東で多くのもの。特に、常夜灯では約30 km離れた七尾-中能登周辺が多い。中台より上部の転倒は、約30～35 km離れた七尾と七尾南東でみられる。なお、灯籠の宝珠の転倒については観測数が少なく、傾向を述べるに至らない。全体的に、転倒部位が上部に限られるほど、震央からの距離が遠くなる。

なお、墓前灯籠を除く灯籠の回転と並進は、富来から氷見にかけて全体的に散在して見られる(Fig. 17)。主として、邑知潟北方でみられ、南方では氷見の1箇所で認められるのみである。

灯籠の転倒方向—灯籠の転倒方向は、73基の円柱灯籠、2基の角柱灯籠、および34基の常夜灯で計測した。以下、円柱灯籠、角柱灯籠、および常夜灯について述べる。

円柱灯籠の転倒方向は全体的に約300度の範囲でばらつき、同一地点または近接地点において複数の方向を示す(Fig. 21A)。しかし、数km～数十kmの範囲において転倒方向が揃う傾向にあり、調査地域は、卓越する転倒方向に基づき、富来から羽咋、氷見にかけて7つの転倒方向帯に分けられる(Fig. 21B)。転倒方向帯Iは富来-中島で東南東、IIは中島-徳田-和倉-七尾-能登島で西ないし西南西、IIIは七尾南部-崎山半島で南東、IVは中能登-七尾で北東、Vは中能登で南、およびVIは羽咋北部-中能登で西北西、VIIは氷見北東部で東北東となる。転倒方向帯IIとIIIの境界では、同一の寺院でそれぞれに対応する転倒方向がみられる。

円柱灯籠のうち宝珠の転倒箇所は、富来と中能登付近の5箇所である(Fig. 21A)。富来付近の2基の転倒方向は、ともに南南東で揃うものの、周辺の円柱灯籠の転倒方向とは30から160度で斜交する。また、宝珠の転倒方向は、同一の円柱灯籠の宝珠より下部を構成する竿から笠までの転倒方向と異なる。竿から笠までの転倒方向は、海岸に近い箇所で北西、中島に近い箇所で南西である。また、富来南方の2基の宝珠は約5 km以内の徳田付近の円柱灯籠の転倒方向と類似する。中能登付近の1基は、同一地点と中能登付近の円柱灯籠の転倒方向とは100度で斜交する。

角柱灯籠の2基の転倒箇所は、中島と志賀でそれぞれ1箇所1基である。中島における転倒方向は西南西で(Fig. 22)、辺の向きに概ね平行である。志賀における転倒方向は、その計測が困難であった。

常夜灯の転倒方向は、全体にばらつく(Fig. 22)。転倒方向を計測した34基のうち、29基の転倒方向は辺の向きに概ね平行で(Fig. 20A, C)、5基の転倒方向は辺の向きとは斜交する(Fig. 20B, D)。これらの転倒方向の全体に占めるその割合は、前者が85%で、後者が15%を占める。同一地点で2基の転倒がみられる7地点のうち、4地点で転倒方向が揃い(Fig. 22のLocs. A-D)、2地点で概ね直交し(Fig. 22のLocs. E-F)、1地点で互いに逆方向を示す(Fig. 22のLoc. G)。また、富来の同一地点の5基の転倒方向(Fig. 22のLoc. H)は、4基で北西から西南西で、1基で北北東を示す。

円柱灯籠、角柱灯籠、常夜灯以外に、雪見灯籠(Fig. 16C)と墓前灯籠(Fig. 16D, E)の転倒方向を計測しているが今回詳述しない。

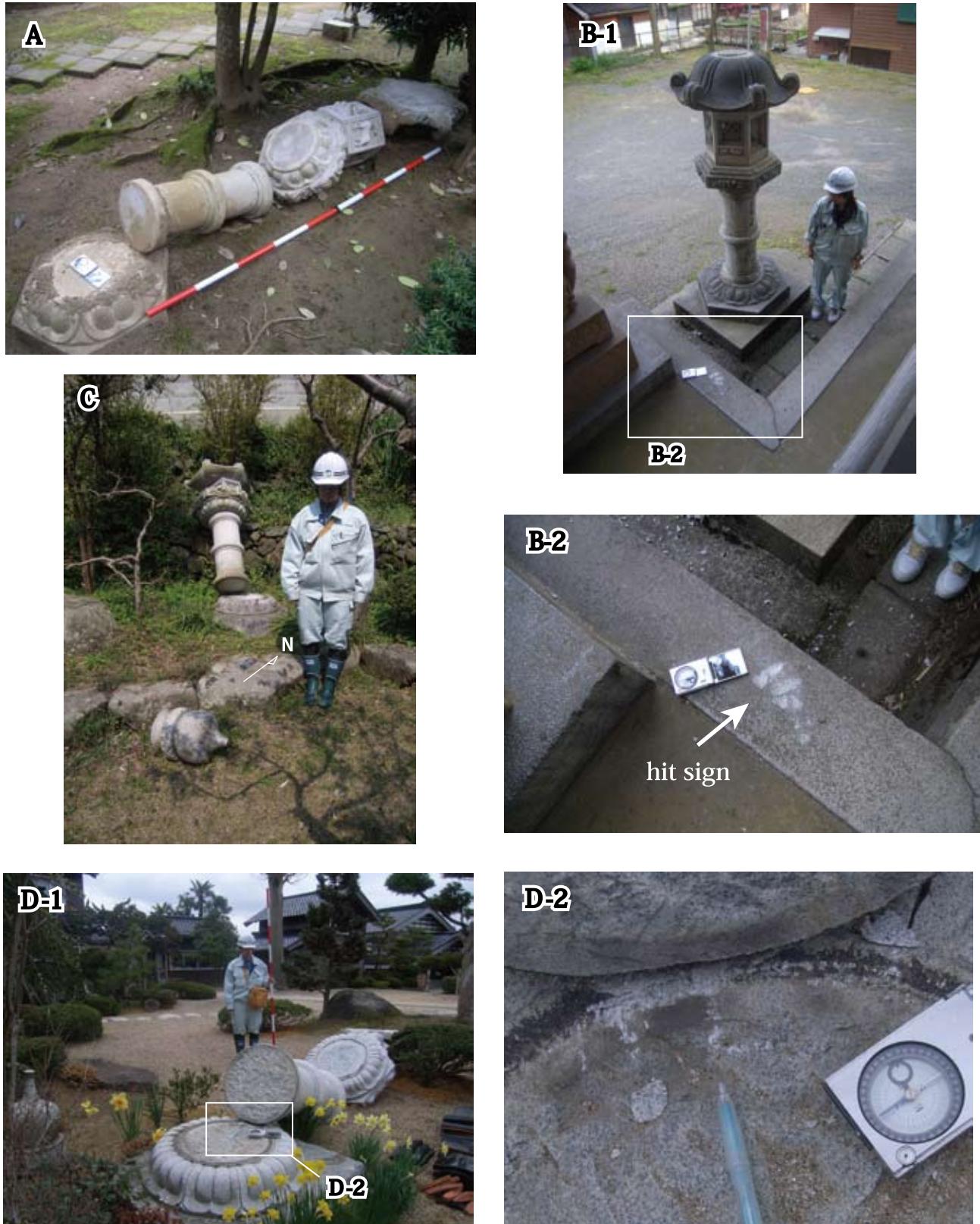


FIGURE 18. A, Field occurrences of overturned Enchu-type stone lanterns. Every parts of overturned stone lanterns arranged as a line. B-1-2, Field occurrences of overturning of orb, which is an uppermost part of an Enchu-type stone lantern. The orb might have been removed by somebody. The direction of overturning can be measured based on a hit sign by a orb on a concrete structure. C, Overturning of Enchu-type stone lantern. The direction of parts above pedestal except for orb shows northwest, while the one of the orb shows south-southeast. D-1-2, Overturning of Enchu-type stone lantern. Direction of striation on the surface on non-displaced part pedestal show same direction as overturning one of parts above a pedestal except for orb.

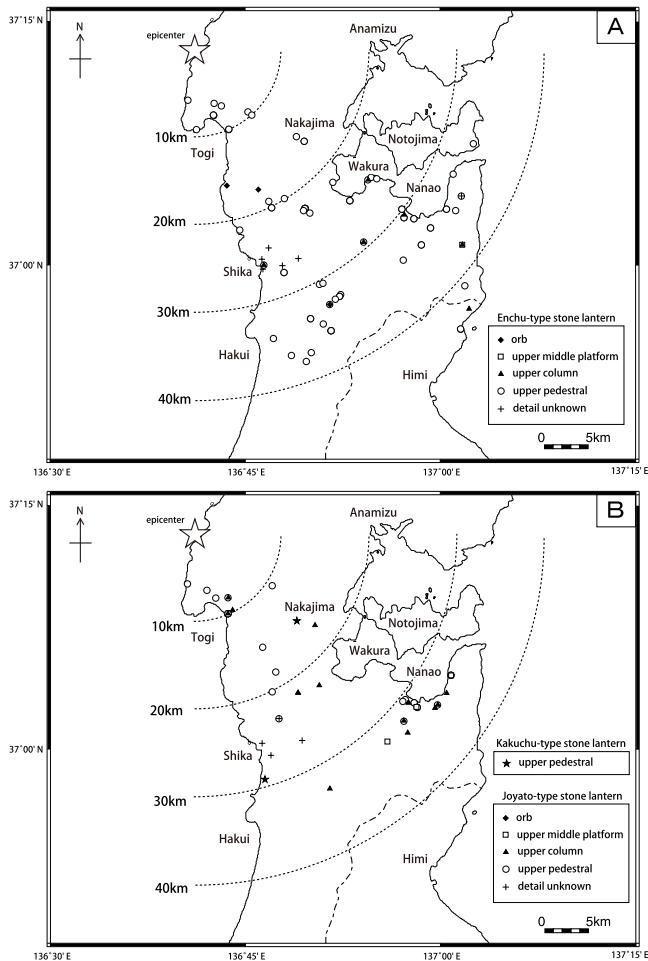


FIGURE 19. A, Regional distribution of overturned parts of Enchu-type stone lanterns. Crosses represent overturned gravestones that detail of overturned parts is unknown. B, Regional distribution of overturned parts of Kakuchu-type and Joyato-type stone lanterns.

円柱灯籠の擦痕

転倒方向を計測した円柱灯籠の73基のうち26基で、非転倒構造物上面に擦痕が認められる (Fig. 18D). 擦痕は、ほとんどの場合において直線状をなし、数cm程度の長さを有する。また、一般に、数mm～数cm幅の間に、多数の擦痕が平行に並んで見られる。これら擦痕の伸びの大部分は、被転倒構造物の転倒方向と調和的である。一方、26基のうち転倒方向と一致しない方向の擦痕が、富来の2基で確認される (Fig. 21AのLocs. a, b)。富来北西方の円柱灯籠 (Loc. a) は、転倒方向が東北東 (N63E) である一方、非転倒構造物の面上にN63E, N37W, およびN47Wに伸びる擦痕を持つ。富来東方の円柱灯籠 (Loc. b) は、竿から笠の転倒方向が南西 (S38W) で、宝珠のそれが南南東 (S31E) である。また、非転倒構造物上の擦痕の方向は、竿から笠の転倒方向に概ね調和的な南西方向 (S53W) と西方向 (S83W) である。竿から笠と宝珠の転倒方向は、富来周辺の転倒方向と斜行するが、西方向の擦痕は近傍の円柱灯籠の転倒方向と類似する。

考 察

能登半島地震では、多数の人工構造物が変位し、それらの産状等は先行研究で報告されている (例えば、翠川・三浦, 2007; 川辺, 2007a, b)。本稿では、灯籠と墓石の変位のうち特に、円柱灯籠の転倒方向に着目して議論を行い、転倒方向とK-NETの地震波形との比較を行う。また、変位率や転倒率と地盤状況との関連性について、既存の地質資料を基に議論を展開する。

円柱灯籠の転倒方向一計測した墓石灯籠の転倒方向のうち、最もばらつきが小さいのは円柱灯籠である。これは、円形の水平断面を持つ円柱灯籠は、地震動や地盤の水平変位に鋭敏に反応しやすいためである。また、正方形の水平断面を持つ常夜灯で85%、和型墓石で96%が辺の向きに概ね平行な転倒方向を示す。これらの一部で、転倒部位底面の辺に沿う転倒を確認できることから、常夜灯と和型墓石のほとんどが辺の向きに概ね平行な転倒方向を示すのは、正方形の水平断面の影響を受けたためと考えられる。以上から、地震動を解析する上では、円柱灯籠が最も有効であるといえる。

能登半島南部地域は、円柱灯籠の卓越する転倒方向に基づき、Fig. 21Bに示す転倒方向帯I～VIIの7つの転倒方向帶に分けられる。震央に近い邑知潟低地帯北西方の転倒方向帶IとIIは、概ね東西方向の転倒方向としてまとめることが可能で、柏木ほか (2007a) により示された震源断層以南の東西の転倒方向と調和的である。これらの転倒方向は、震源断層に近い地域を含む広域に分布していることから、地震時の地殻変動を反映した、主たる地盤変位を反映していると判断される。転倒方向帶IVとVIは、邑知潟低地帯の延びとほぼ平行の分布を示す。また、転倒方向帶IIIの南東の転倒方向は、邑知潟低地帯の延長方向にほぼ直交し、転倒方向帶IVの北東の転倒方向は、邑知潟低地帯の延長方向にほぼ平行である。邑知潟低地帯は、その北西と南東端を逆断層で画される特異的な地形をなしているが、円柱灯籠の広域的な転倒方向は、その巨視的な地形形状や地形境界の断層の影響を強く受けていると考えられる。

墓石の転倒率と変位率—墓石の転倒率と変位率は、震央からの距離が約10km以内で高く、10～40kmで相対的に低い傾向があり、震央からの距離との関連性を指摘できる。一方、震央から遠方で局所的に高い値を示す地域があり、距離以外の要因も考慮する必要がある。また、転倒率の全体的な傾向は、石渡 (2007) と概ね調和的である。以下では、震央から遠方であるものの高い値を示す地域について、既存資料に基づく地形地質資料を基に、それら要因について考察する。

七尾では、転倒率が特異的に高くなる箇所は、七尾市役所から北西に約1.5km離れた、第三系堆積岩類が分布する丘陵地縁辺部にあたる。ここでは、標高10～20m前後で幅約100mのやせ尾根が、北東と東北東にそれぞれ約500mにわたって伸びる。七尾の転倒率と変位率は、低地、段丘面上および丘陵地の縁辺ではほとんど変わらないが、丘陵地縁辺から伸びる尾根地形の尾根上と先端部で特異的に高い。地形と地震動に関して、清田ほか (2006) は、モデル解析により丘地形の鉛直断面が頂上に向かって鋭角になるほど、頂上部の加速度の振幅が増幅されることを示している。また、栗田ほか (2005) はアレー観測記録の分析および3次元有限要素法による数値シミュレーションから、山地形における山頂の増幅率が非常に大きくなることを示している。よって、転倒率と変位率が特異的に高くなる要因の一つとして、丘陵地山頂の凸型地形による地震



FIGURE 20. Field occurrences of overturned Joyato-type stone lanterns. A–B, Overturning of parts above a pedestal. C–D, Overturning of parts above a column. E, Overturning of parts above a middle platform.

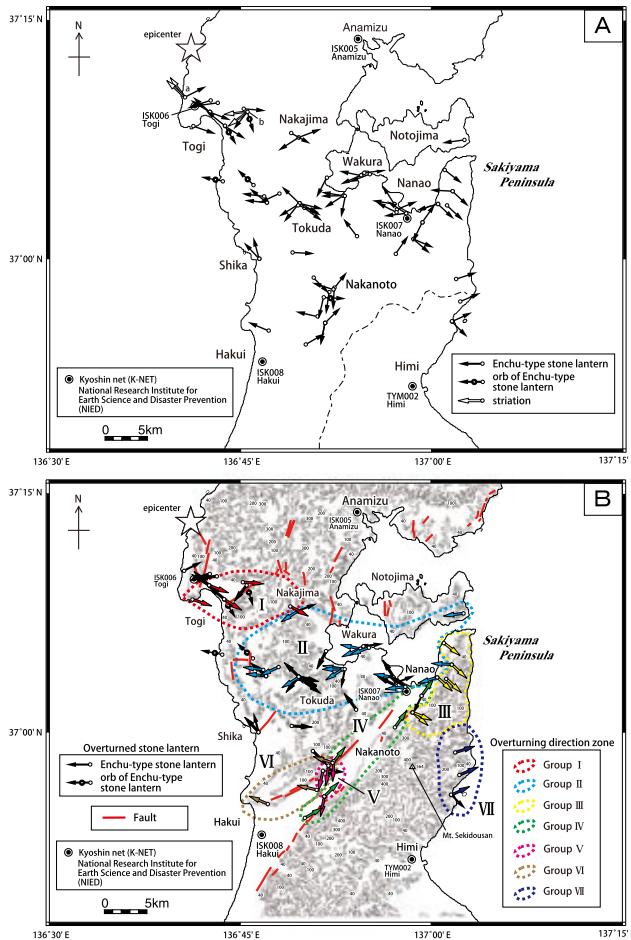


FIGURE 21. A, Overturning directions of Enchu-type stone lanterns with directions of striations on non-displaced structures in the Southern Noto Peninsula. B, Overturning direction zones recognized by them of Enchu-type stone lanterns. The based topographic map is modified after Geographical Survey Institute (2002). Bold lines are active faults traces based on the Research Group for Active Faults of Japan (1991).

動の増幅が考えられる。また、七尾周辺の変位率の全体的な傾向は、低地、段丘、および丘陵地縁辺の4つの地形のうち、丘陵地縁辺において最も高く、低地と段丘で差はほとんどないものの、後者がやや高くなる。

羽咋で変位率が20%を超える4箇所（Locs. 31, 41, 42, 45）のうち、Loc. 45を除く3地点（Locs. 31, 41, 42）は、丘陵地縁辺から伸びる幅約100-200mで長さ約300-400mの尾根または小丘状地形の尾根部や先端部に位置する。しかし、変位率3%のLoc. 43は、丘陵地縁辺の幅と長さが約100mの小丘状地形の斜面上に位置し、Loc. 42の地形と類似する。羽咋周辺の変位率の全体的な傾向は、低地、段丘、砂丘、および丘陵地縁辺の4つの地形のうち、丘陵地縁辺において最も高い。また、砂丘上と低地の変位率の差はほとんどないが、前者で数%高くなる。

地形ごとに転倒率に差が出る原因の一つとして、墓地の地盤や地形条件の違いによる揺れの増幅が、これまでの多くの震災調査で報告されている。1941年長野地震では、崖の直上の墓地で転倒率が高く、少し離れた地点で全く転

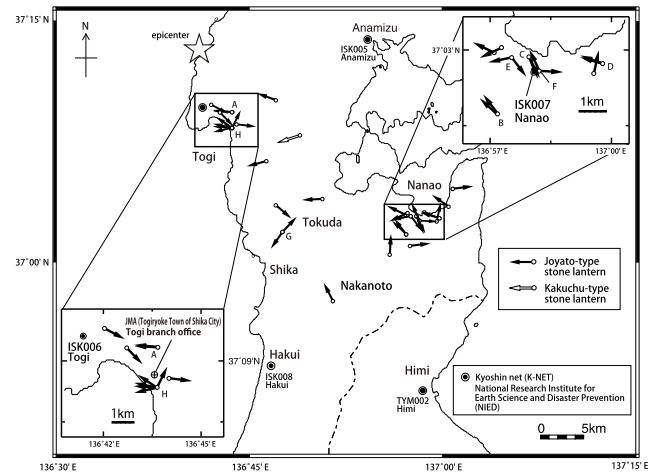


FIGURE 22. Overturning directions of Kakuchi-type and Joyato-type stone lanterns in the Southern Noto Peninsula.

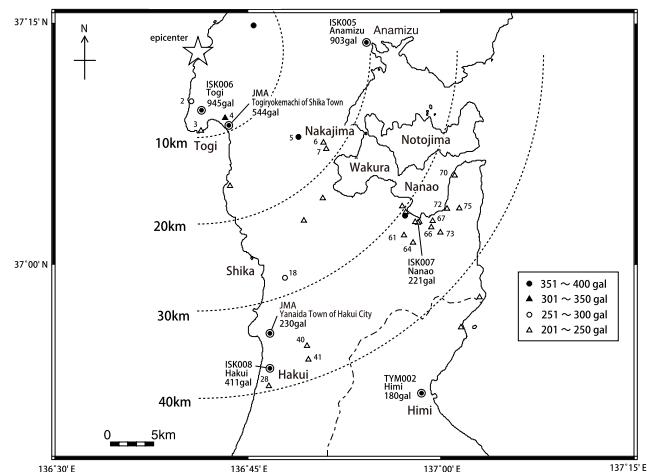


FIGURE 23. Ground acceleration calculated from percentage of overturned gravestones calculated using the equation of Ohashi et al. (1978).

倒が認められることから、転倒率が地盤の影響をしばしば受けていると示唆されている（岸上ほか, 1941）。1978年宮城県沖地震では、山腹斜面や崖錐堆積物が集積し易い斜面末端部で、高い転倒率が得られている（大槻, 1980）。1993年釧路沖地震では、台地や丘陵の縁辺や、切土と盛土の境界部分での転倒率や変位率で、高い傾向が指摘されている（田近ほか, 1994）。1995年兵庫県南部地震では、段丘崖や段丘崖直上、急崖上において高い転倒率が報告されている（川崎ほか, 1996）。地盤条件の違いとしては、1978年鳥取県中部地震の際、同一墓地内の花崗岩基盤上の墓石は転倒しにくく、黒土上の墓石は転倒し易いことが指摘されている（加藤, 1979）。また、断層や撓曲等の地質構造が、局所的に高い揺れをもたらし、高い転倒率と変位率の原因になったとの指摘もなされている（大槻, 1980；田近ほか, 1994）。

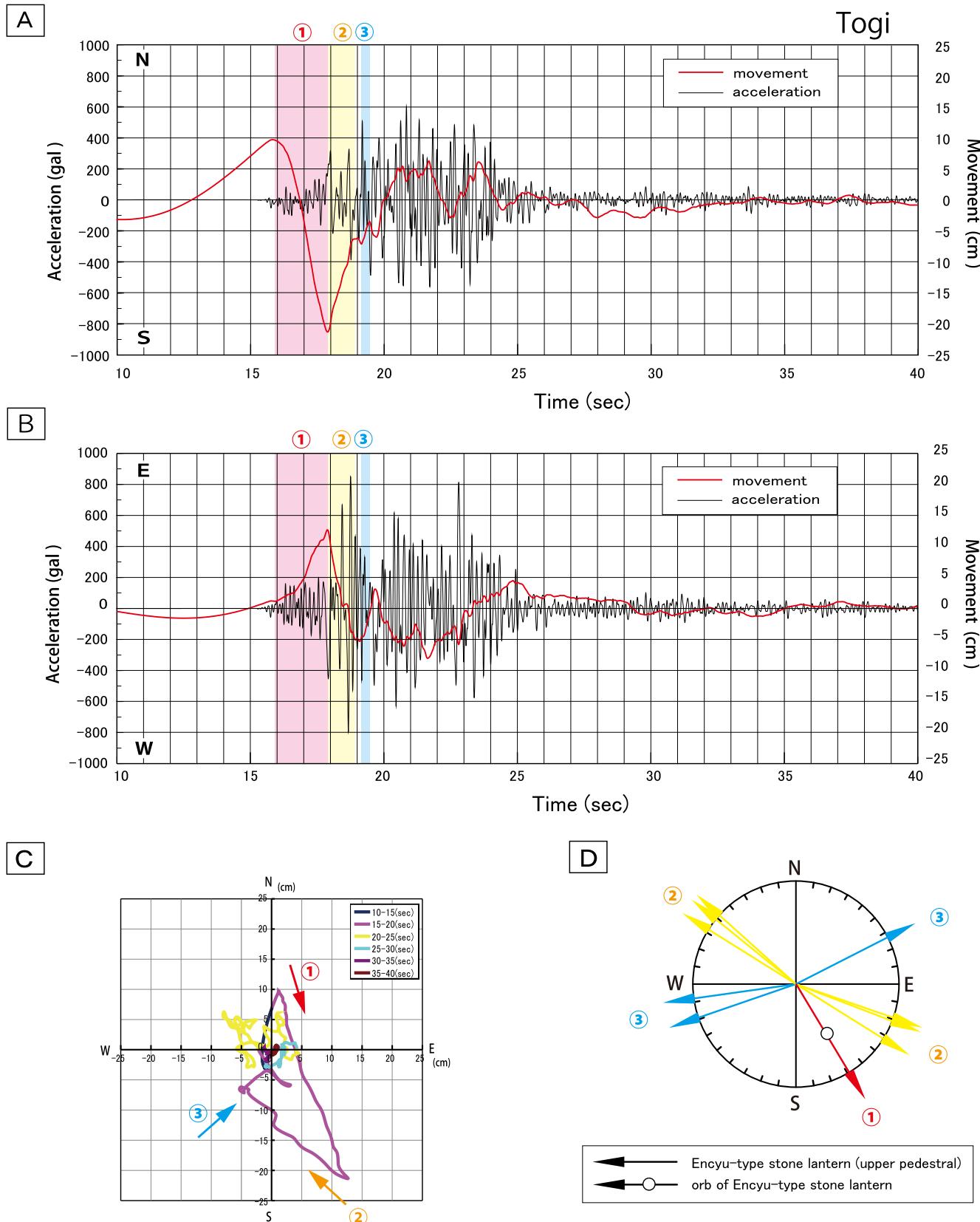


FIGURE 24. A, Waveform of acceleration and movement in the Togi Town (ISK006 NS). B, Waveform of acceleration and movement (ISK006 EW). C, Observed horizontal particle motion of movement at ISK006 site. D, Overturning directions of Enchu-type stone lanterns in the Togi Town.

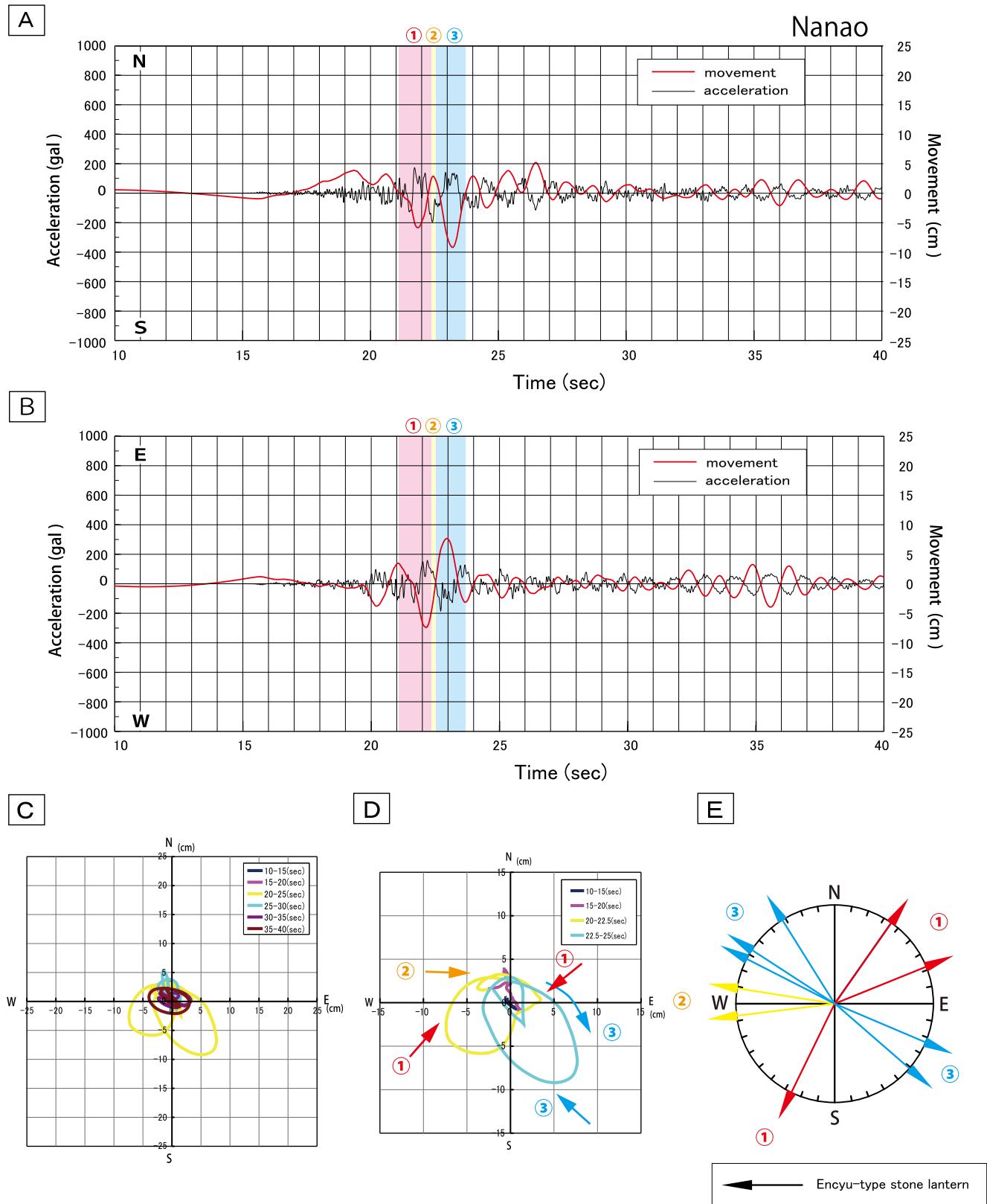


FIGURE 25. A, Waveform of acceleration and movement in the Nanao City (ISK007 NS). B, Waveform of acceleration and movement (ISK007 EW). C-D, Observed horizontal particle motion of movement at ISK007 site. E, Overturning directions of Enchu-type stone lanterns in the Nanao City.

2007年能登半島地震における高い転倒率と変位率は、主に丘陵地の末端斜面で記録されている。高い転倒率を示す地形は、筆者らの調査結果と既存の研究結果に基づくと、急崖縁辺や斜面末端部が挙げられる。

墓石の転倒率と加速度の関係について一墓石の転倒率と最大加速度の間に、近似的に直線関係があることが知られている（大橋ほか、1978）。以下では、墓石の転倒率分布から、地震時における最大加速度の広域的な推定を試みる。さらに、地震計により、最大加速度が明らかな地点を対象に、その周辺における転倒率との比較を行う。

大橋ほか（1978）によると、平均墓石転倒率が0%より大きく75%以下の場合において、最大加速度（gal）= $2.67 \times \text{平均墓石転倒率} (\%) + 200$ 、と示されている。この式を用いて、筆者らによる転倒率から広域的な加速度分布を求めた（Fig. 23）。気象庁の地震計とK-NETにより実測されている加速度によると、調査範囲で200galを超えているのは、富来、七尾、および羽咋である。また、気象庁の地震計とK-NET近傍における転倒率から算出された加速度は、七尾の低地、段丘上（Locs. 64, 66, 67）、および丘陵地縁辺で、実測値と調和的な値を示す。一方、富来と羽咋の砂丘上（Locs. 4, 28）、および羽咋の低地と丘陵地縁辺においては、転倒率から得られた加速度は、実測値より150～200gal程度、富来の段丘上で500gal以上も下回る。転倒率から算出された加速度は、実測値より砂丘上で200gal程度下回る値を示し、段丘上、低地、および丘陵地縁辺では地域ごとにそれとの対応関係が異なり、全体的に小さな値を示す。

転倒方向とK-NETの地震波形との比較一円柱灯籠は、そのほとんどで円形の水平断面を持つ竿から上部が転倒し、また、転倒方向を計測した円柱灯籠のうち、転倒方向と異なる擦痕が認められたのはごくわずかであることから、円柱灯籠は地盤の地震動や水平変位に対して鋭敏に反応して転倒すると考えられる。澤田ほか（1998）は、振動台実験と3次元DEM解析により、墓石の回転方向が、回転する加速度粒子軌跡の逆向きであることを明らかにしている。また、川辺（2007a）は、2007年能登半島地震による転倒墓石に残された損傷痕の解析から、損傷痕のでき方と損傷痕相互の新旧関係をもとに墓石の重心の移動を復元し、さらに、復元した墓石の重心移動とK-NET輪島（ISK003）の加速度粒子軌跡との対応関係を明らかにした。川辺（2007a）では加速度変化のみに注目しているが、地震時の地盤の加速度は、例えば防災科学技術研究所が設置した強震記録（K-NET）の加速度データが示すように、0.1秒のオーダーで振動しているため、墓石の時系列的な動きを詳細に復元できない場合は、墓石の動きと加速度粒子軌跡との対応関係を明らかにすることは困難である。そこで、筆者らは、今回、地盤の加速度を、より大局的な方向や変化量を示す地盤の変位に置き換えて、円柱灯籠の転倒方向と強震記録（K-NET）より算出した水平変位との対応を試みる。円柱灯籠の転倒方向は、地盤の地震動や水平変位の方向に強く影響を受けていると期待され、地盤の水平変位方向に対して、変位方向とこれと逆向きの2方向を示すと考えられる（Fig. 4）。このような地盤の水平変位方向と円柱灯籠の転倒方向との関係に基づき、円柱灯籠の転倒方向について、強震記録（K-NET）より算出した水平変位との対応関係について述べる。使用した観測点は、ISK006（富来）とISK007（七尾）である。変位の算出は、K-NETの加速度強震波形を基に、齊藤（1978）の漸化式を用いてフィルターをかけ、0.1kHz～20kHzの領域のデータを使用している。また、算出する加速度波形の横軸の時間

は、各観測点における地震波到達時刻の15秒前を0秒とした時間（sec）である。以下、地域ごとに円柱灯籠の転倒方向とK-NETより算出した水平変位との対応関係について述べる。

富来：ISK006（富来）から半径5km以内でみられる円柱灯籠のうち、竿から上位の転倒方向は、西北西～北西、東北東、東南東、西南西～西の4方向で、宝珠の転倒方向は南南東である（Fig. 24D）。宝珠の転倒方向は、地震波到達後の15.0秒から15.9秒の北北東の変位の後に続く15.9秒から17.9秒の南南東方向の変位、竿から上位の西北西～北西と東南東の転倒方向は17.9秒から18.9秒の北西方向の変位と、それぞれ同じまたは逆向きである。15.9秒から17.9秒の南南東方向の変位量は約30cmで、それに続く17.9秒から18.9秒の北西方向の変位量は約20cmで、前者で地震波到達（15秒）から40秒までの任意の方向の変位量のうち最も大きく、後者で2番目に大きい。また、半数以上の円柱灯籠がこの南南東と北西の2方向の変位に対応し、両変位が地震波到達直後の北北東の変位から続く変位であることから、転倒を生じさせた変位と考えられる。西南西～西と東北東の転倒方向は、それに続く19.2秒から19.5秒の北東に向かう水平変位に、おおよそ対応すると考えられる。以上から、円柱灯籠の転倒方向は、約17秒前後に届くS波の立ち上がりから5秒以内の、K-NETより算出した水平変位に概ね対応する。また、宝珠と宝珠より下部を構成する竿から笠までの転倒方向が異なる円柱灯籠について、宝珠の南南東の転倒方向は15.9秒から17.9秒の南南東方向の変位、竿から笠までの東北東の転倒方向は19.2秒から19.5秒の北東方向の水平変位に対応し、宝珠の転倒方向が竿から笠までよりも早い時刻の水平変位に対応している。

七尾：ISK007（七尾）との対応関係に用いる円柱灯籠は、ISK007七尾の最大加速度がISK006富来のそれの半分以下であることを考慮し、便宜的にISK007七尾から半径2.5km以内を対象とする。この範囲の円柱灯籠の転倒方向としては、西北西～北北西、北東～東北東、東南東～南東、南南西、西の5方向である（Fig. 25E）。転倒に卓越した方向が認められないのは、ISK007（七尾）の加速度と変位がISK006（富来）に比べ小さく、相対的に大きな水平変位の際に転倒せずに残ったものが多数あるためと解釈される。そのため、転倒方向と地盤の水平変位方向の対比には問題が残るが、対比を試みる。北東～東北東と南南西の転倒方向は21.1秒から22.4秒にかけて北東から南西に向かい再び北東に戻る変位、西北西～北北西と東南東～南東の転倒方向は、22.4秒から23.7秒にかけて北西から南東に向かい、再び北西に戻る変位と同じまたは逆方向である。また、21.1秒から22.4秒の北東～南西方向の変位量は約10cmで、それに続く22.4秒から23.7秒の北西～南東の変位量は約13cmで、前者で地震波到達（15秒）から40秒までの任意の方向の変位量のうち2番目に大きく、後者で最も大きい。また、円柱灯籠の半数以上がこの北東～南西と北西～南東の変位に対応していることから、北東～東北東と南南西の転倒方向は21.1秒から22.4秒、西北西～北北西と東南東～南東の転倒方向は、22.4秒から23.7秒の水平変位にそれぞれおおよそ対応すると考えられる。また、西方向の転倒方向について、東西方向の水平変位は22.4秒、35.6秒、および36.3秒にそれぞれピークを持つ3つの時刻で認められるが、最大加速度が約22秒から23秒の間で記録され、他の転倒方向に対応する変位時刻の連続性を考慮すると、西方向の転倒方向は最も前者に対応すると考えられる。以上から、円柱灯籠の5つの転倒方向は、

約20秒弱に届くS波の立ち上がりから5秒以内のK-NETより算出した水平変位に概ね対応する。

富来と七尾におけるK-NET近傍の円柱灯籠の転倒方向とK-NETから算出した水平変位との検討に基づくと、円柱灯籠の転倒方向は、概ねS波の立ち上がりから5秒以内のK-NETより算出した水平変位に対応する。

まとめ

- 墓石・灯籠の転倒は、震央から約30～40km離れた震度6強～震度5弱の羽咋・七尾までしばしば認められるが、それ以遠の氷見北部ではわずかである。

- 墓石の転倒率と変位率は、震央からの距離が約10km以内でそれぞれ35-61%と76-100%と高く、10～40kmで一般に10%以下と低くなる。しかし、後者では、特異的に高い転倒率と変位率が、主に丘陵地縁辺から伸びる尾根地形または小丘状地形の尾根部や先端部で記録されている。

- 和型墓石と常夜灯の転倒方向は、正方形の水平断面に影響を受ける。また、和型墓石で96%、常夜灯で85%が辺の向きに概ね平行な転倒方向を示す。一方、円柱灯籠は円形の水平断面を持ち、計測した墓石灯籠の転倒方向のうち最もばらつきが小さい。従って、地震動を解析する上では円形の水平断面を持つ円柱灯籠が最も有効である。

- 能登半島南部地域は、円柱灯籠の卓越する転倒方向に基づき、7つの転倒方向帯に分けられる。邑知潟低地帯北西方における転倒方向帯IとIIは、大まかに東西方向の転倒方向としてまとめることが可能で、地震時の地殻変動を反映した、主たる地盤変位を反映していると判断される。邑知潟低地帯における転倒方向帯IVとVIは、邑知潟低地帯の延びとほぼ平行の分布を示す。また、転倒方向帯IIIは、邑知潟低地帯の延長方向にほぼ直交し、転倒方向帯IVの北東の転倒方向は、延長方向にほぼ平行である。以上のことから、円柱灯籠の広域的な転倒方向が、巨視的な地形形状や地形境界の断層の影響を強く受けていることが示唆される。

- 富来と七尾のK-NET近傍の円柱灯籠の転倒方向は、概ねS波の立ち上がりから5秒以内のK-NETより算出した水平変位に対応する。

謝 辞

富山応用地質研究会の会員には、有益なご討論を頂いた。富山大学大学院理工学研究部（理学）の大藤茂教授には、変位についてご教授頂いた。防災科学技術研究所にはK-NETデータの使用を許可して頂いた。愛知工業大学の倉橋 燐氏には、K-NETデータの解析方法についてご指導頂いた。日本石材産業協会の服部 仁技師には、墓石灯籠の部位名称と英語表記について、懇切丁寧にご教授頂いた。七尾市役所、七尾市役所中島支所、志賀町役場、志賀町富来支所、羽咋市役所、および宝達志水町役場志雄支所の関係者には、2,500分の1または5,000分の1の国土基本図等を提供して頂いた。ダイチ株式会社の樫井邦彦氏には国土基本図の収集を、高岡智恵さんと開 理恵さんには図面作成に御協力頂いた。調査を行った民家と寺院の方々には、復旧が進むなか、敷地内での調査に御協力頂いた。東北大学東北アジア研究センターの石渡 明教授、山形大学地域教育文化学部の川辺孝幸教授には、懇切丁寧に査読して頂いた。福井県立恐竜博物館の紀要編集員の一島啓人主任研究員には、原稿全般について有益な御意見を頂

いた。以上の方々に心から感謝します。

引用文献

- 市村純一・井口健二・川本恭央・鈴木保弘・中村典正・沼田淳紀・伯井 守・三輪 滋. 2006. お墓と地震と地盤－被災墓地から学んだこと、墓石の振動実験から分かったこと、まだ分からないこと－（実験映像DVD付）。日本石材産業協会、東京、139pp.
- 石渡 明. 2007. 能登半島地震と将来の金沢地震について。石川自治と教育 2007年11月615号、2-17.
- 独立行政法人防災科学技術研究所、2008. 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/>
- 柏野義夫・三浦 静・藤井昭二. 1992. アーバンクボタ no. 31 1992 特集=北陸の丘陵と平野. 株式会社クボタ、大阪、65pp.
- 柏野義夫編. 1993. 石川県地質誌. 石川県・北陸地質研究所. 金沢、321pp.
- 柏木健司・道家涼介・大藤 茂. 2007a. 円柱灯籠の転倒調査から推定される2007年能登半島地震の地震動. 第46回日本地すべり学会研究発表会講演予稿集：293-294.
- 柏木健司・道家涼介・大藤 茂. 2007b. 地震時およびその後における墓石灯籠のノンテクトニックな変形の識別方法. 日本地質学会第114年学術大会講演予稿集：281.
- 加藤碩一. 1979. 1978年6月4日の島根県中部地震による墓石の被害について. 地質調査所月報 30: 421-431.
- 活断層研究会編. 1991. 日本の活断層－分布図と資料. 東京大学出版会、東京、437pp.
- 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.
- 川崎輝雄・野村亮太郎・大矢真也. 1996. 墓石の転倒からみた兵庫県南部地震の被害分布とその地形環境. 地理学評論 Ser. A, 69: 39-50.
- 岸上冬彦・永田 武・宮村 三. 1941. 昭和16年7月15日長野地震の統計的調査. 東京帝国大学地震研究所ご報 19: 628-646.
- 気象庁. 2007. 平成19年3月 地震・火山月報(防災編). 気象庁、東京、101pp.
- 気象庁. 2008. 初動発震機構解. <http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/mech/ini/fig/mc20070325094157.html>
- 清田 隆・東畑郁夫・Khalid Farooq・Obaid Hassan Qureshi. 2006. パキスタン地震被害調査報告. 日本地震工学論文集 6 (2): 35-57.
- 国土地理院. 2001. 数値地図50m メッシュ(標高)日本-II. 財團法人日本地図センター、東京.
- 国土地理院. 2002. 数値地図200000(地図画像)日本-II. 財團法人日本地図センター、東京.
- 国土地理院. 2007. 平成19年(2007年)能登半島地震を起こした震源断層の姿. http://cais.gsi.go.jp/Research/crust/notohanto/fault_etc.pdf
- 栗田哲史・安中 正・高橋 聰・嶋田昌義・末広俊夫. 2005. 山地形における地震動の增幅特性. 日本地震工学会論文集 5 (3): 1-11.
- 翠川三郎・三浦弘之. 2007. 2007年能登半島地震における

る物体の移動事例と強震観測点での地盤特性. http://www.enveng.titech.ac.jp/midorikawa/2007Noto_report.pdf

野村正純. 2007. 能登半島地震；旧七尾市における建造物の被害. 地球科学 61 : 255-263.

大橋昭光・岩崎敏男・川島一彦. 1978. 墓石の転倒状況からみた1978年1月伊豆大島近海の地震による地震動強度の推定. 土木研究所資料. 1399 : 39.

太田陽子・松田時彦・平川一臣. 1976. 能登半島の活断層. 第四紀研究 15 : 109-126.

太田陽子・平川一臣. 1979. 能登半島の海成段丘とその変形. 地理学評論 52 : 169-189.

大槻憲四郎. 1980. III - 3 地震動と地盤. '78宮城県沖地震災害の教訓=実態と課題=. 宮城. 116-126.

斎藤正徳. 1978. 漸化式ディジタル・フィルターの自動設計. 物理探鉱 31 : 112-135

澤田純男・土岐憲三・飛田哲男. 1998. 墓石の回転挙動から推定される地震動特性. 土木工学会論文集 598 : 287-298.

田近 淳・深見浩司・岡崎紀俊・小澤 聰・遠藤祐司・黒沢邦彦・大津 直・萩野 激・石丸 聰・秋田藤夫. 1994. 1993年釧路沖地震による地盤現象と災害. 地下資源調査所調査研究報告 no. 23 : 105pp.