

2007 年能登半島地震による建物被害および気象庁震度との関係

—過去の地震との比較を通して—

鹿島小堀研究室* 諸井 孝文

鹿島原子力部 釜田 正毅

鹿島小堀研究室 池田 孝

Structural damage due to the 2007 Noto Hanto earthquake and its relationship to the seismic intensity in JMA scale

—Comparing with motion-damage relations from past earthquakes—

Takafumi MOROI

Kobori Research Complex, Kajima Corporation, 6-5-30 Akasaka, Minato-ku,
Tokyo, 107-8502 Japan

Masaki KAMATA

Nuclear Power Department, Kajima Corporation, 6-5-11 Akasaka, Minato-ku,
Tokyo, 107-8348, Japan

Takashi IKEDA

Kobori Research Complex, Kajima Corporation, 6-5-30 Akasaka, Minato-ku,
Tokyo, 107-8502 Japan

The 2007 Noto Hanto earthquake (Mj6.9) occurred on March 25, 2007 at near the western coast of Noto peninsula. A maximum seismic intensity of 6 upper in JMA scale was observed, and structural damages due to the strong motion were induced at many places in Noto peninsula. There have been many discussions for the adequacy of the seismic intensity in JMA scale as an appropriate index to indicate a degree of structural damages. This paper describes the results of our field investigation carried out immediately just after the earthquake, which focused mainly to know the regional damage state in relation to the seismic intensity level. The field investigation results indicated that almost all heavy damages (e.g. collapses) began to appear in old and vulnerable houses or sheds at the area with seismic intensity of 6 lower, and that relatively new structures were damaged negligibly, if any, even in the region of the intensity 6 upper. On this characteristic of damage occurrence we concluded that the seismic intensity-damage relation obtained from this earthquake was consistent with that of past earthquakes.

Keywords: 2007 Noto Hanto Earthquake. Structural Damage. Seismic Intensity. Aseismic Performance.

§ 1. はじめに

2007 年 3 月 25 日午前 9 時 41 分 58 秒, 能登半島西岸からやや沖合いの深さ約 11km を震源として M6.9 (M: 気象庁マグニチュード) の 2007 年能登半島地震が発生した. 発震機構は西北西—東

南東に圧縮軸を持つ横ずれ成分を含む逆断層型であり, 内陸地殻内の浅い地震であった [地震調査委員会 (2007)]. この地震により石川県能登地方を中心として最大震度 6 強の強い揺れが襲い, 灯籠の下敷きになり 1 名が死亡, 各地で家屋の大

* 〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30
電子メール: moroi••kajima.com

破・倒潰や地盤変状などの被害が生じた。自治体の被害集計によれば、2007年11月28日現在で全壊684棟、半壊1731棟にのぼる[消防庁(2007)]。

地震直後から収集した情報によって、富山市から震源近傍の輪島市にかけて震度5弱ないし6強の地域が並ぶことがわかった。そこでわれわれは、被害の概況を把握するとともに地震動強さと被害程度の対応関係を調べることを目的とし、強震観測点を中心とした現地調査を実施した。本稿では調査で明らかとなった各地域の被害状況を震度ランクごとにまとめ、震度と被害の関係について考察する。震度と被害に関しては、両者の関係を調べる上で建物の耐震性能を考慮する必要があるという指摘[諸井・武村(1999)]や、さらには被害に直結した地震動指標としての震度に対する問題点[境・他(2002)]など様々な議論がある。ここでは過去の地震による住家全潰率との比較などを通じ、能登半島地震による震度と被害の関係が一般的なものと言えるかどうか、建物の耐震性能や地盤条件など被害に関連する諸条件も含めて考えてみたい。

§2. 現地調査

2.1 調査行程

地震発生直後から収集した地震動の広がりや被害の分布に関する情報を基に、能登半島地方を対象とした現地調査を次の行程で実施した。

3月25日：氷見市，七尾市，同田鶴浜町，穴水町，能登町，同黒川地区

3月26日：輪島市，同門前町，志賀町

各地の調査から、震度ランクと建物被害の発生頻度に一定の関係があることが認められた。以下では各地の被害状況を震度ランクごとに述べる。

2.2 震度ランクごとの被害状況

能登半島地方の表層地質[地質調査所(1995)]に震度分布を重ねて図1に示す。図には気象庁一元化震源による本震・余震の震央位置も示している。この地方は主に新第三系の堆積岩類と安山岩などの火山岩類からなる小起伏山地あるいは丘陵地で特徴づけられ、その間に点在する小規模な沖積低地に集落が分布する[経済企画庁総合開発局(1974)]。そのため各集落の地震動強さはその地域の震度で概ね代表することができ、ある広がりの中での被害発生率をその値と結びつけることに

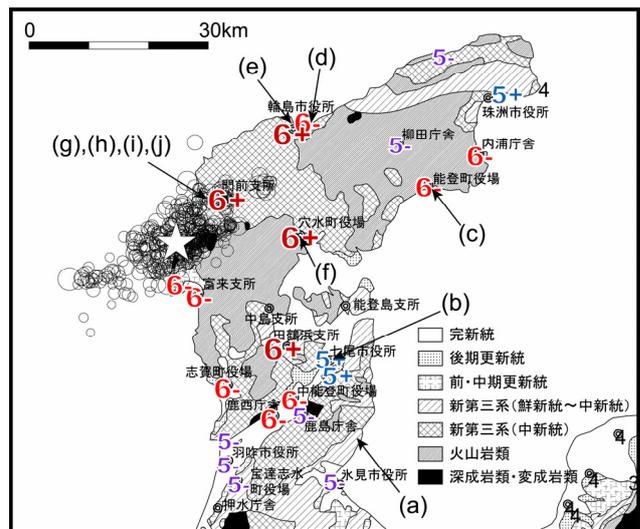


図1 表層地質と震度分布。星印は本震，丸印は本震から24時間以内の余震の震央位置を示す。また(a)~(j)は写真1~10の撮影位置である。

誤差は少ないものと思われる。

このような考察に基づき、現地調査を行った能登半島内に限って各地の被害状況を震度ランクごとに整理すると、以下のようにまとめられる。

(1) 震度5強以下の地域

富山湾に面した富山県氷見市の中心部は震度5弱にとどまり、特筆すべき被害は見当たらない。また氷見市から七尾市に至る海岸沿いの国道160号線では集落によって屋根の葺土の散乱が目立つ地域とそうでない地域が混在していた。例外的に氷見市姿地区では土蔵の崩壊や住家外壁の落下が生じた(写真1)。この地区では崖崩れや地割れ、灯籠や墓石の転倒も認められており、他と比べて局所的に地震動が強かった可能性がある。

氷見市から石川県に入った七尾市の市役所では震度5強を観測したが、周辺の住家に目立った被害は認められない。付近の長福寺で灯籠の落下(写真2)や社務所玄関ガラスの破損があったものの、墓石の転倒はほとんど見られなかった。

(2) 震度6弱の地域

震度6弱を観測した能登町や志賀町においても被害は軽微であった。能登町では鶴川地区における納屋の倒潰が特記される程度であり、町役場周辺の住家には一見して被害が認められない(写真3)。また志賀町役場の周辺では、わずかな棟数の住家棟瓦のずれが確認されたに過ぎず、構造的被害は全く見当たらない。

これに対し、同様に震度6弱の輪島市河井町で

はある程度目立つ被害が発生した。輪島市の中心部は河原田川（輪島川）を挟んで東岸の河井町と西岸の鳳至町に分かれ、前者は震度6弱（計測震度5.5）、後者は震度6強（同6.1）を記録した〔気象庁（2007）〕。このような震度の高低に対応して両地区の被害状況も異なっており、河井町の被害は鳳至町に比べると全体的に小さい。しかしながら、町内ではいくつかの大傾斜した住家（写真4）や崩壊した納屋が認められた。この計測震度5.5を観測したK-NET観測点は浄願寺から一本松公園に向かう丘陵地の中腹に設置されている。これに対し、建物被害は主に低地部に発生していた。これら被害発生地点の地震動レベルがK-NET観測点よりやや高かった可能性も考えられる。

(3) 震度6強の地域

震度6強は輪島市の門前町と鳳至町、穴水町、七尾市田鶴浜町の4地点で観測された。輪島市鳳至町の被害は、すでに述べたとおり河井町に比べて大きく、倒潰に至った住家が散見された（写真5）。穴水町では駅北側の商店街の被害が特に激しく、倒潰寸前まで大きく傾斜した何棟もの家屋があった（写真6）。穴水市街地は小又川と山王川が

合流する地域に広がり、比較的軟弱な地盤の影響によって被害が拡大したものと推測される。RC造の穴水小学校および穴水中学校の外壁に亀裂が生じていたが、両者の被害とも地盤変状が原因となり、不同沈下による強制変位を受けたための損傷と推定される。七尾市田鶴浜町では市役所支所周辺で噴砂が認められ、液状化に起因する被害が建物周りに生じていた。田鶴浜町の被害は震度6強の地域の中では小規模であったが、支所南側の住宅地では通りに沿う一帯で住家の傾斜や土蔵外壁の崩落が顕著であった。さらにその東側の住吉神社では、灯籠の落下とともに大型の石碑が完全に転倒した。

震源近傍の輪島市門前町は震度6強の地域の中でも計測震度6.4と最大の値を記録し〔気象庁（2007）〕、建物被害もまた最も甚大であった。この計測震度を観測した門前町走出地区では総持寺への参道や国道249号線に沿って倒潰あるいは傾斜した家屋が連なり、そこから海岸に近い道下地区では完全に倒潰した住家も随所に見られた（写真7）。また、隣接する黒島町の高台にある福善寺では9割程度の墓石の転倒が認められた（写真8）。



写真1 氷見市姿地区（震度5弱～5強）における土蔵外壁の崩落。隣の住宅にも被害が見られる。



写真2 七尾市役所（震度5強）付近の寺院内での石灯籠頭部の落下。社務所の玄関ガラスも破損した。



写真3 能登町役場（震度6弱）の周辺の状況。住宅外観に被害は見られない。



写真4 輪島市河井町（震度6弱）において大傾斜した木造住宅。



写真5 輪島市鳳至町（震度6強）において、倒潰して道路にせり出した木造住宅。



写真6 穴水町（震度6強）における倒潰寸前の木造住宅。



写真 7 輪島市門前町（震度 6 強）において完全に倒潰した木造住宅。



写真 8 輪島市黒島町の高台にある福善寺墓地の状況. 墓石の 9 割程度の転倒が認められる.



写真 9 輪島市門前町道下地区において外観上無被害の木造の郵便局.



写真 10 輪島市門前町道下地区において外観上無被害の RC 造医院.

このように輪島市門前町の被害は大規模であったが、倒潰や大傾斜などの大きな被害は古い木造住宅もしくは土蔵・納屋に集中し、比較的新しい木造住宅あるいは鉄筋コンクリート建物の被害は軽微であった（写真 9, 10）。

§ 3. 議論

3.1 震度分布

最初に、この地震の広域的な震度分布を、同様

に地殻内の浅い地震であった 2004 年新潟県中越地震（M6.8）および 2005 年福岡県西方沖地震（M7.0）と比較して図 2 に示す。図には震央距離 40km および 65km の同心円を重ね書いている。この震央距離は、Kawasumi (1954) から導かれる震度の距離減衰式によって推定される、M6.9 の場合の震度 6 と 5 の範囲にほぼ相当する。Kawasumi (1954) の距離減衰式は、 I を計測震度ではなく震度階級の値として次式で表せる[気象庁(1996)]。

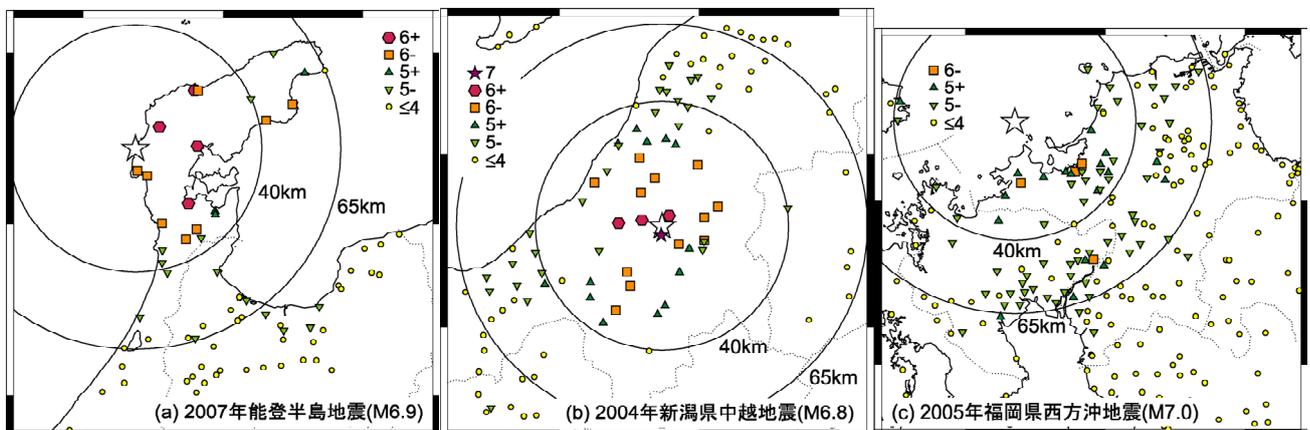


図 2 2007 年能登半島地震、2004 年新潟県中越地震および 2005 年福岡県西方沖地震の震度分布。星印はそれぞれの地震の震央位置を示す。

表 1 能登半島地震による震度階ごとの被災状況と気象庁震度階級関連解説表の比較

(a) 木造建物

震度	能登半島地震の被災状況	気象庁震度階級関連解説表	
		耐震性の低い木造建物	耐震性の高い木造建物
5強	屋根瓦のずれ, 外壁の崩落など	壁や柱がかなり破損したり, 傾くものがある	—
6弱	古い木造住宅の大きな傾斜, 倒壊が現われ始める	倒壊するものがある	壁や柱が破損するものがある
6強	古い木造住宅の倒壊が多く見られる	倒壊するものが多い	壁や柱がかなり破損するものがある
7	—	—	傾いたり, 大きく破壊するものがある

(b) RC 造建物

震度	能登半島地震の被災状況	気象庁震度階級関連解説表	
		耐震性の低いRC造建物	耐震性の高いRC造建物
5強	無被害	壁, 梁, 柱などに大きな亀裂が生じるものがある	壁などに亀裂が生じるものがある
6弱	無被害	壁や柱が破壊するものがある	壁, 梁, 柱などに大きな亀裂が生じるものがある
6強	壁やエキスパンションジョイント部に亀裂や剥離が多少見られる	倒壊するものがある	壁や柱が破壊するものがある
7	—	—	傾いたり, 大きく破壊するものがある

$$I = 2M - 4.60 \log \Delta - 0.00166\Delta - 0.32 \quad (1)$$

ここで M : マグニチュード, Δ : 震央距離である.

ただしこの経験式に対してはデータと合わないことがあるという指摘 [宇津 (1984)] もある. その点からここでは単に目安として描いたが, 能登半島地震の震度分布は震度 5 以上でよい対応を示すことがわかる. これに対し新潟県中越地震の震度はやや小さめであるが, 地震規模が若干小さいことを考慮すると概ね整合していると言える. 一方, 福岡県西方沖地震では震度 6 の範囲が狭く, 佐賀県みやき町で飛び地的に震度 6 弱が生じているものの, それ以外で震度 6 弱が観測された地点は震央距離が約 25km 以内に分布する. このような震度の距離減衰特性の差異について, 気象庁 (2007) は逆断層 (能登半島地震および新潟県中越地震) における上盤効果が大きな震度を生じさせるためと説明している. しかしながら震度の絶対値や分布形状は, 断層タイプ以外にも震源の強震動励起特性や地盤条件など様々な要因を受けた結果である. ここでは震度分布の比較に留めるが, このことについては他の地震も加えてさらに検討

が必要であろう.

3.2 気象庁震度階と被害レベルの関係

先に述べたとおり, 2007 年能登半島地震による震度と被災状況の間には一定の関連性が認められた. このことは被災地全体にわたる定量的な調査に基づくものではなく, 調査もれや被害判定の不確かさも否定できないが, 震度と被害レベルの関係はある程度とらえたものと理解できよう. そこで両者の関係をまとめ, 気象庁震度階級関連解説表 [気象庁 (1996)] と比較して表 1 に示す.

能登半島地震による木造建物の被害は, 震度 5 強の地域で外壁など非構造部材に損傷が認められたものの構造体の被害は見られず, 震度 6 弱の輪島市河井町で大傾斜もしくは全潰した家屋が現れ始めた. さらに震度 6 強の地域では, 門前町の被害に代表されるように倒潰家屋が目立って増えていた. ただし大きな被害は築 50 年以上と推定される古い木造住家や土蔵に顕著であり, 比較的新しい住宅の被害は震度 6 強の地域においても軽微であった. また RC 造建物は, 穴水町や七尾市田鶴

浜町など震度 6 強の地域で外壁やエキスパンションジョイント部の亀裂や剥離、あるいは地盤変状に起因する基礎周りの被害事例が認められたものの、建物自体に大きな被害は見られなかった。このことは 2004 年新潟県中越地震における小千谷市（震度 6 強）や十日町市（同 6 弱）などの被害状況とは異なる特徴である。ただし新潟県中越地震で被災した RC 造建物は、明らかに 1981 年の新耐震設計法施行以前に建設された構造物である [鹿島建設(2004)]. 今回調査した限りであるが、能登地方の RC 造建物は比較的新しいか、もしくは耐震補強が施されていた。これらが被害の低減に有効に作用したのであろう。

このような能登半島地震の被災状況に対して気象庁震度階級関連解説表の記述を当てはめると、耐震性の低い木造建物についての解説表は被害レベルがやや大きい傾向はあるものの、被害の出現可能性を述べたものとみなすと概ね整合する。一方、耐震性の高い木造建物に関しては、今回の地震で被害が認められなかったことから解説表の記述は過大評価と言える。RC 造建物についても同様の傾向にあり、新潟県中越地震の被災状況とあわせて考えると耐震性の低い RC 造建物で概ね整合し、耐震性の高い RC 造建物では解説表が被害を過大に評価している。

次に、能登半島地震による震度と木造建物の被害レベルの関係を 1995 年兵庫県南部地震と比較する。図 3 は諸井・武村 (2003) が兵庫県南部地震の被害データから評価した地動速度 $PGV(\text{cm/s})$ と住家全潰率 Y の関係であり、次式で回帰されている。

$$Y = \Phi[(\ln PGV - 5.21)/0.491] \quad (2)$$

ここで $\Phi(\cdot)$ は標準正規分布関数を表す。

上式のうち地動速度 PGV は、墓石の転倒率 Q のデータ [藤本・他 (1995), Takemura and Tsuji (1995)] を用い、翠川・藤本 (1996) による次の経験式から推定されている。

$$Q = \Phi[(\log PGV - \log 63)/0.21] \quad (3)$$

一方、全潰率 Y は調査墓地周辺の木造住家全潰率であり、建築研究所 (1996) のデータから全潰棟数を抽出して求められた値である [諸井・武村 (1999)]. また図には、武村 (1998) が最大加速度 $PGA(\text{cm/s}^2)$ と最大速度 $PGV(\text{cm/s})$ から震度を推定した次式を参照し、加速度と速度の比 (AV 比) を $PGA/PGV=10$ と仮定して求めた震度の範囲を重

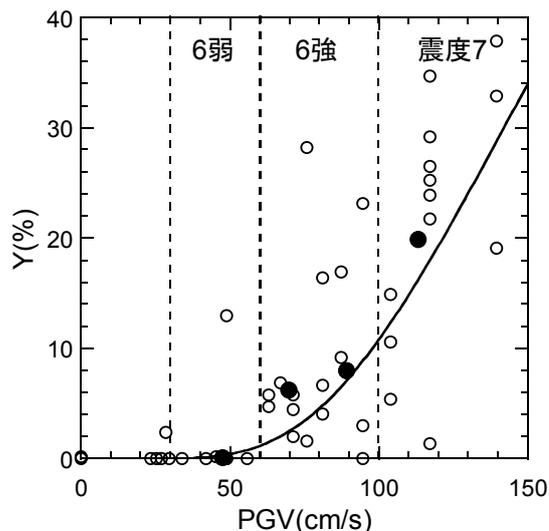


図3 1995年兵庫県南部地震のデータによる地動速度と住家全潰率の関係 [諸井・武村 (2003)]. ○は調査墓地周辺の値, ●はその平均値であり, 実線は対数正規分布関数による回帰曲線である. 震度の推定値を加筆した。

ねて示している。

$$I = \log(PGA \cdot PGV) + 1.5 \quad (4)$$

ここで I は計測震度である。震度 6 弱, 6 強, 7 の下限はそれぞれ $PGV=30, 60, 100\text{cm/s}$ に概ね相当し、図より震度 5 強の住家全潰率 Y はほぼ 0%, 6 弱は $Y=0\sim 1\%$, 6 強は $Y=1\sim 10\%$, 7 は $Y\geq 10\%$ と推定される。今回の調査では住家全潰率を求めるまで十分なデータは得られていないが、震度 6 弱の地域で全潰家屋が現れ始め、震度 6 強の地域で倒潰家屋が目立った傾向はこの震度と全潰率の関係によく整合する。先に述べたとおり倒潰や大きな傾斜などの大被害は老朽化した木造住家や土蔵に顕著であり、さらに一見して古い家屋といえども必ず全潰するとは限らない。しかしながら図 3 もまた、阪神地域において様々な耐震性能を有した住家群が地震による被害を受けた結果である。そこで各データを、ある地区の住家棟数に占める耐震性能が相対的に低い住家の全潰棟数割合を示すものと考え、図 3 は能登半島地震と全く同様の被害出現傾向を表しているといえる。なお図 3 の横軸は元々墓石の転倒率がデータであるため、AV 比の仮定や用いる経験式によって結果が変わる可能性がある。ところが一方で諸井・武村 (1999) は、兵庫県南部地震において気象庁発表の震度 VII の分布と住家全潰率 10% 以上の

範囲がよく対応するという、ここでの推定と共通する結論を得ている。このことから判断すると、震度の推定に多少の曖昧さは残るものの、得られた震度と全潰率の関係に大きな誤差はないものと考えられる。

3.3 過去の地震による住家全潰率との比較

地震による建物の損傷度合いがその耐震性能に大きく左右されることは言うまでもなく、能登半島地震で発生した被害率もそれを反映した結果である。このことについて、過去の地震による地震動強さと住家全潰率の関係から考察する。

諸井・武村 (1999) は 1995 年兵庫県南部地震による墓石の転倒震度 K と住家全潰率 Y の関係を求め、過去の地震の K - Y 関係と図 4 のように比較した。用いたデータは図 3 と同じであり、墓石の転倒震度 K は転倒率 Q から推定されている。これによれば、1952 年十勝沖地震までの K - Y 関係がほぼ同様の傾向であるのに比べて兵庫県南部地震は明らかに異なる特徴を示し、全潰率 Y の値が総じて低かつ傾きが緩やかである。このことについて諸井・武村 (1999) は、1950 年に制定された建築基準法がその背景にあることを指摘している。つまり、建築基準法の普及によって住家の耐震性能が飛躍的に向上し、その効果が全潰率 Y の低減に明瞭に現れている。その一方で傾きが緩やかな傾向は、老朽住家の存在が阪神地域の住家群に耐震性能のばらつきを生じさせた結果と考えられる。すなわち図 4 は、近年の建物の高い耐震性能を全潰率の点から評価したものと理解できる。兵庫県南部地震において、震度 VII の下限の全潰率 $Y=10\%$ を生じさせた転倒震度は概ね $K=0.4$ と読み取れる。この値に対応する他の地震の全潰率はほぼ $Y=20\sim50\%$ の範囲にあり、震度 VII の本来の定義すなわち「1948 年福井地震以前の木造住家の倒壊が 30% 以上」[諸井・武村 (1999)] に合致する。このように建築基準法制定以降の耐震性能の向上を反映した結果として、震度 VII の全潰率は過去と比べ約 3 分の 1 に低減したものと結論づけられる。

これらの結果に基づくと、震度 6 程度の地震動強さによって倒潰に至る建物の多くは建築基準法制定以前の木造住家と予想される。能登半島地震でも全潰被害は老朽化した住家・納屋に顕著であり、このこととよく整合する。新しい住宅の被害が震度 6 強の地域においてほとんど見られなかつ

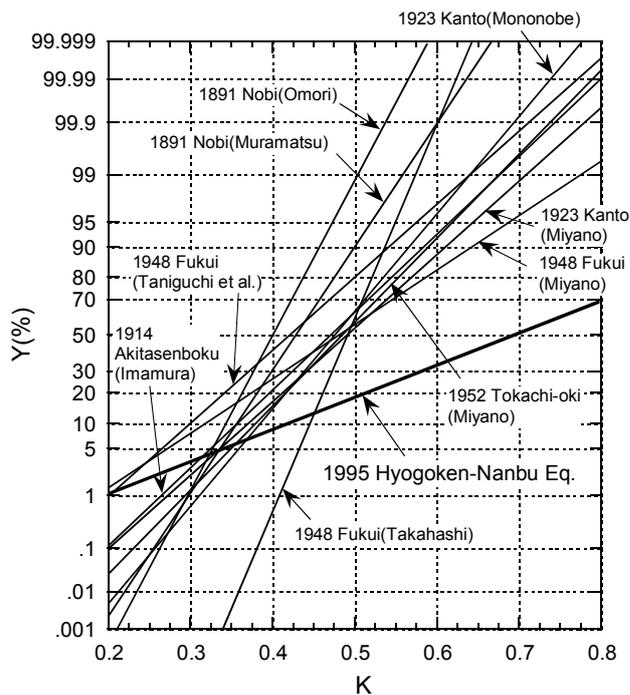


図 4 1995 年兵庫県南部地震と過去の地震による墓石の転倒震度 K と住家全潰率 Y の関係 [諸井・武村 (1999)]。

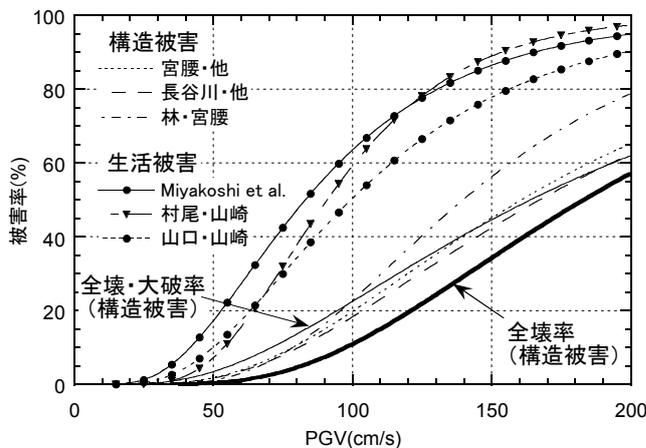


図 5 被害基準によって異なる 1995 年兵庫県南部地震の被害率関数 [諸井・武村 (2003)]。構造被害は構造的被災度に基づく被害率関数であるのに対し、生活被害は自治体の罹災証明によるデータから評価されている。

たという事例は、2004 年新潟県中越地震や 2007 年新潟県中越沖地震でも確かめられている [鹿島建設 (2004), 鹿島建設 (2007)]。建築基準法に則して一定の耐震性能を確保した建物は、この程度の地震動で大きな被害が生じないものと考えて良いであろう。さらに老朽化した住家といえども、耐震補強を施して新しい建物と同等の耐震性能を

確保できれば倒潰の危険性は大幅に低減でき、震度6強の地域に全潰家屋はほとんど生じない可能性もある〔諸井(2003)〕。今回の地震では幸いにして火災の発生を見なかったが、住家の倒潰が大規模火災をもたらし、それによって大量の人的被害が生じた1923年関東地震の例もある〔諸井・武村(2006)〕。地震による人的被害を極力抑えるためには、都市全体を高品質な構造物で構成することが最も効果的であり、早急な対策が望まれる。

ところで一口に全潰あるいは全壊と言っても、場合によってその被災度基準が異なることに注意が必要である。過去の地震については諸井・武村(1999)の調査がある。それによれば、1891年濃尾地震以降の被害資料に用いられた被害ランクの定義は、資料ごとのばらつきは否定できないものの1948年福井地震までの全壊の定義に際立った差異は認められず、共通して「修復不可能な損傷状態」を指している。これに対し1995年兵庫県南部地震の被害記録は、構造的被災度でランク分けしたデータと、生活支障の観点からランク分けしたデータの2種類がある〔諸井・武村(2003)〕。図5は様々なデータから評価された兵庫県南部地震による木造住宅の被害率関数である。図は明らかに2種類に分類される。一方は自治体の罹災証明に基づく被害率関数(図では「生活被害」)であり、もう一方は構造的な被害率関数(同じく「構造被害」)である。前者は後者に比べ極めて大きな全壊率が評価され、また地動速度PGVが30~50cm/s程度の比較的小さい地震動による全壊率も低い値ではない。これは、住宅が構造的な全壊に至らない場合でも、室内の散乱状態などから居

住のための基本的要件をすでに満足しないと判定され、罹災証明が発行される多数のケースがあったためと推測される。震度VIIの下限相当(PGV=100cm/s)の全壊率を見ると、構造被害が10%程度であるのに対し、生活被害では50~60%と極めて高い値を示している。震度VIIの定義から言っても、このような高い全壊率は構造的被災度として理解できる値ではない。生活の復興支援など被災度判定の目的が異なれば被害ランクに差異が生じることは当然である。しかしながら、このようなデータの不一致が地震動と被害の関係を調べる上で混乱を招いていることは否めない。本稿では一貫して構造的な被害について論じてきた。こうした検討では生活の継続不可能という別種の被害を排し、あくまで物理的な被害を基準において考えるべきであろう。

3.4 旧版地形図などによる検討

これまでの議論から震度と建物被害に良い相関関係があることが確認できた。ところがその一方で、震度6強を記録した輪島市、穴水町、七尾市田鶴浜町では、比較的狭い範囲の中でも全潰家屋が地域的に偏在する傾向が認められた。このことは地震動強ささらには住家被害が局所的な地盤条件の影響を強く受けている可能性を示唆している。そこで震度分布に及ぼした地盤の影響を知る手掛かりとして、各地の旧版地形図や郷土史料などを調査した。

まず輪島市は、前に述べたとおり市街地中心部が河原田川を挟んで震度6強の鳳至町と震度6弱の河井町に分かれている。ところが輪島市役所の

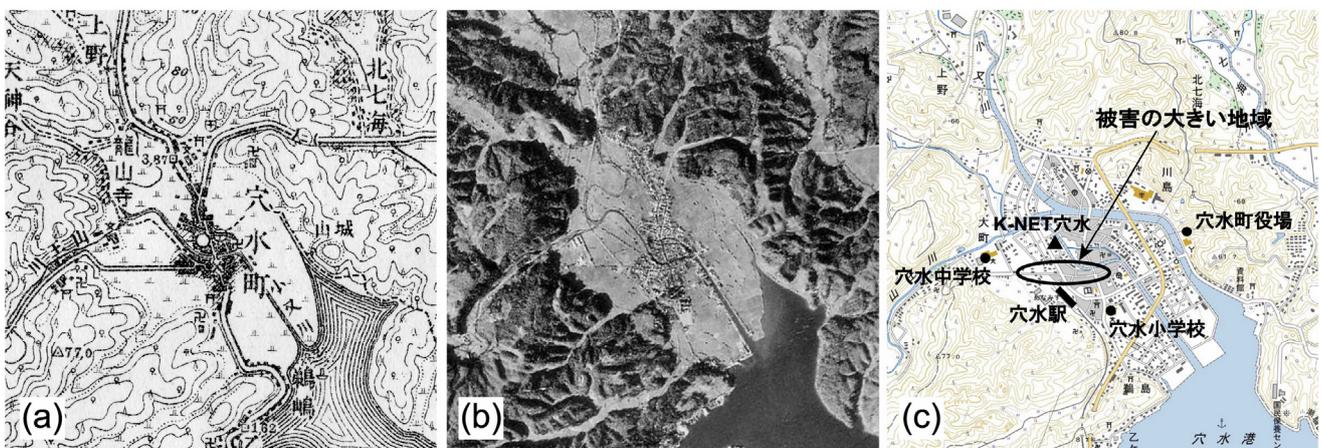


図6 穴水町の新旧地形の比較。(a)は陸地測量部による明治43年測図(5万分1地形図七尾1号穴水)、(b)は昭和22年米軍撮影の航空写真(国土地理院)、(c)は国土地理院による現在の2万5千分1地形図に加筆した。

北方で河原田川に合流する鳳至川は、寛永年間以前は流路が異なり、河原田川とは独立に西方の山際を流れていた〔鳳至郡役所（1923）〕。輪島崎町の浄明寺周辺には船を繋いだ旧跡があり、その付近で多くの船杭が見つかったという記録もある〔輪島市史編纂専門委員会（1973）〕。つまり輪島市鳳至町はかつて鳳至川と河原田川に挟まれた地域であり、このことが輪島市の中でも大きな被害を発生させた原因と考えられる。また西端を河原田川に接する河井町はその氾濫原と考えられており〔輪島市史編纂専門委員会（1973）〕、町内北西部に被害が分布した傾向はこのことと対応する。山中・他（2007）によれば、この地域は東側のK-NET 輪島から西側の気象庁輪島測候所に向かって沖積層の厚さが増し、河原田川沿いで35m以上と最も厚くなっている。旧河道が形成したこのような地盤特性によって、堆積層の厚い河原田川周辺に高い震度ないしは大きな被害が発生したものと推定される。

次に穴水町について見ると、その中心部の大町は小又川と山王川の合流点下流域に広がり、沖積低地に作られた水田の中心に集落が形成された。現在の地形図を明治末期の旧版地形図および昭和22年撮影の航空写真と比較して図6に示す。図に見るように、明治期においては市街地が現在より狭く、広い水田に取り囲まれていた。このような状況は昭和22年でもほとんど変化がない。また川筋も異なっており、現在市街地の中央を流れる真名井川が小又川の本流であった。そのため穴水町は過去何度も水害に襲われ〔穴水町役場（1964）〕、昭和45年に治水用の人工放水路として今の小又川が通水された。さらに長谷（1992）によれば、旧小又川の河口付近はかつて奥深く海が入り込み、現穴水小学校周辺は葦の生えた潟であったと伝えられている。つまり穴水町の低地部は古代の入海に山から供給された土砂が堆積した扇状地であり、度重なる水害を受けた水田地帯であった。このような古くからの堆積環境もしくは市街地の形成過程が、今回の地震による地震動強さに大きな影響を与えた可能性は高い。

能登島を挟んで穴水町と向かい合う田鶴浜町の沖積低地もよく似た過程で形成された。七尾西湾に面する地域では、縄文期には台地の縁まで奥深く海が入り込んでおり、田鶴浜町や上野ヶ丘町の低地部は穴水市街地と同様にかつての入海であっ

た〔田鶴浜町史編さん委員会（1974）〕。

震度6弱ないし6強程度の地震動が観測される地域では、建物の耐震性能や立地点の地盤条件の違いに伴って建物の損傷度合いが大幅に異なるものと予想される。今回の現地調査で認められた建物被害の集中は、こうした諸条件の差異が建物に生じる被害のランクに影響を及ぼし、そのために倒潰家屋が選択的に発生した結果と考えられる。

§4. まとめ

2007年能登半島地震の被害調査に基づき、震度と建物被害との関係について検討した。得られた結果を以下にまとめる。

① 能登半島地震による木造建物の被害は、震度5強以下の地域で外壁など非構造部材の損傷が見られたものの、構造体に被害は生じていない。次に震度6弱の輪島市河井町では、大傾斜ないし全潰した家屋が現れ始めた。さらに震度6強の地域では、輪島市門前町の被害に代表されるように倒潰家屋が目立って増えていた。

② ただし、大きな被害は古い木造住家や土蔵・納屋などに顕著であり、新しい住宅の被害は震度6強の地域においても軽微であった。

③ RC造建物は比較的新しいかもしくは耐震補強が施されており、震度6強の地域で非構造部材の剥離や亀裂、あるいは地盤変状に起因する基礎周りの被害が認められたものの、建物自体に大きな被害は見られなかった。

④ これらの被災状況を気象庁震度階級関連解説表と比較すると、耐震性の低い建物についての解説表の記述は被害レベルがやや高い傾向があるものの概ね整合する。一方、耐震性の高い建物に関しては、解説表の被害レベルは過大評価と考えられる。

⑤ 能登半島地震による被害の出現傾向は、1995年兵庫県南部地震の地震動強さと住家全潰率の関係に調和的である。また過去の地震による住家全潰率との比較から、震度6程度の地震動によって倒潰に至る建物は老朽化した木造住家に限られると予想され、能登半島地震の被災状況はこのことと調和的である。さらに言えば、建築基準法に則して一定の耐震性能を確保した建物は、震度6程度の地震動で大きな被害が発生しないものと推定される。

⑥ その一方で、震度6強の地域では比較的狭

い範囲の中でも全潰家屋が偏在する傾向が認められた。このことは建物の耐震性能とともに立地点の地盤条件の影響を強く受け、倒潰家屋が選択的に発生した結果と推定される。輪島市、穴水町、七尾市田鶴浜町では旧河道が現在と異なることや市街地がかつて入海であったことなどがあり、沖積低地の形成過程が地震動強さないし被害の発生率の大きな要因となっていることが示唆される。

謝辞

石川県立歴史博物館学芸専門員、本康宏史博士に石川県各地の地方史および郷土資料についてご教示いただいた。また匿名査読者からのコメントは本稿の改善に非常に有益でした。記して感謝します。

文献

- 穴水町役場, 1964, 穴水町十年誌, 459pp.
- 地質調査所, 1995, 100 万分の 1 日本地質図第 3 版 CD-ROM 版, 数値地質図 G-1
- 鳳至郡役所, 1923, 石川県鳳至郡誌 (昭和 60 年復刻版), 1324pp.
- 藤本一雄・翠川三郎・武村雅之・松岡昌志, 1995, 1995 年兵庫県南部地震の際の墓石の転倒調査, その 1 墓石の転倒率の分布および地盤条件との関係, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 II, 101-102.
- 長谷進, 1992, 穴水町の集落誌, 穴水町教育委員会, 833pp.
- 地震調査委員会, 2007, 平成 19 年 (2007 年) 能登半島地震の評価,
<http://www.jishin.go.jp/main/index.html>
- 鹿島建設, 2004, 2004 年 (平成 16 年) 新潟県中越地震被害調査報告書 (速報), 110pp.
- 鹿島建設, 2007, 平成 19 年 (2007 年) 新潟県中越沖地震被害調査報告書, 5-2pp.
- Kawasumi, H., 1954, Intensity and magnitude of shallow earthquake, Bureau Central Seism. Intern., Ser.19, 99-114.
- 経済企画庁総合開発局, 1974, 縮尺 20 万分の 1 土地分類図付属資料 (石川県), 74pp.
<http://tochi.mlit.go.jp/tockok/index.htm>
- 建築研究所, 1996, 平成 7 年兵庫県南部地震被害調査最終報告書, 303pp.
- 気象庁, 1996, 震度を知る—基礎知識とその活用—, ぎょうせい, 238pp.
- 気象庁, 2007, 平成 19 年 3 月地震・火山月報 (防災編), 100pp.
<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 翠川三郎・藤本一雄, 1996, 墓石の転倒調査から推定した兵庫県南部地震の際の神戸市およびその周辺での震度分布, 日本建築学会構造系論文集, 490, 111-118.
- 諸井孝文, 2003, 地震動と建物被害の関係, 第 7 回震災対策技術展講演会資料, 日本建築学会地震防災総合研究特別調査委員会, 7-12.
- 諸井孝文・武村雅之, 1999, 1995 年兵庫県南部地震による気象庁震度と住家全壊率の関係, 地震 2, 52, 11-24.
- 諸井孝文・武村雅之, 2003, 被害率関数のばらつきと被害の解釈—構造被害と生活被害—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 II, 21-22.
- 諸井孝文・武村雅之, 2006, 1923 年関東地震における死者発生のプロセス—1855 年安政江戸地震との比較をふまえて—, 歴史地震, 21, 47-58.
- 境有紀・瀨瀬一起・神野達夫, 2002, 建物被害率の予測を目的とした地震動の破壊力指標の提案, 日本建築学会構造系論文集, 555, 85-91.
- 消防庁, 2007, 平成 19 年 (2007 年) 能登半島地震 (第 47 報), 8pp.
<http://www.fdma.go.jp/index.html>
- 田鶴浜町史編さん委員会, 1974, 田鶴浜町史, 石川県鹿島郡田鶴浜町役場, 1092pp.
- 武村雅之, 1998, 過去の地震被害分布の特性, 1998 年度日本建築学会災害部門パネルディスカッション資料, 9-14.
- Takemura, M. and Y. Tsuji, 1995, Strong motion distribution in Kobe area due to the 1995 Southern Hyogo Earthquake (M=7.2) in Japan as inferred from the topple rate of tombstones, J. Phys. Earth, 43, 747-753.
- 宇津徳治, 1984, 地震学第 2 版, 共立出版, 310pp.
- 輪島市史編纂専門委員会, 1973, 輪島市史, 資料編第五巻自然環境資料, 石川県輪島市役所, 551pp.
- 山中浩明, 元木健太郎, 福元俊一, 2007, 地盤震動からみた能登半島地震の地震動, 第 35 回地盤震動シンポジウム (2007), 日本建築学会, 23-30.