

2007年3月25日能登半島地震による建築物の被害と強震観測記録

前田匡樹

東北大学大学院都市・建築学専攻 准教授

三辻和弥

東北大学大学院都市・建築学専攻 助教

菅原裕太、中村匠

東北大学大学院都市・建築学専攻 修士課程

五十嵐さやか

東北大学工学部建築・社会環境工学科

はじめに

3月25日に能登半島西部を震源とする地震が発生した石川県では、震源に近い輪島市、穴水町、七尾市で震度6強を、志賀町、能登町で震度6弱など、県内各地で強い揺れが観測され、死者1名、重傷者25名、住家の全壊379棟・半壊437棟など大きな被害が発生した。

被災地域では、防災科学技術研究所のK-NETや気象庁の震度計などにより地震記録が観測されている。筆者らは、強震観測点周辺の木造住宅を中心とした建築物の被害を調査し、被害の傾向を分析するとともに、建物の被害率と強震記録との関係について検討を行った。

1. 調査の概要

調査は、3月29日から4月1日の4日間で行った。調査対象地点は、強震観測の加速度記録デジタルデータが公開され入手可能な、防災科学技術研究所のK-NET、KiK-net、及び、気象庁の観測点とし、その周辺の被害状況について、以下の調査を行った。

- (1) 強震観測点の敷地や周辺の地盤変状
- (2) 観測点周辺区画(100m四方程度の街区)の建築物の構造特性と被害レベル
 - ・構造種別(木造、RC造、鉄骨造)、階数
 - ・外壁、屋根の種類
 - ・道路に面した構面の開口および壁量
 - ・被災度(軽微、小破、中破、大破、倒壊)と被害方向
- (3) 観測点付近の学校施設の外観被害調査
 - 大破・倒壊などの深刻な建物被害が見られた以下の地区については、強震観測点付近の街区の建物の



：重点的な調査地域 ：その他調査地域

図1 震源と被害調査地点

全数調査(構造種別、被害レベル、壁量など)を行った。調査は、2班に別れて2時間程度で、それぞれ1街区20-30棟の建物について行った。

- ・JMA 輪島(輪島市鳳至町)
- ・K-NET 輪島(輪島市河井町)
- ・輪島市門前町震度計(輪島市門前町走出)
- ・K-NET 穴水(穴水町大町)

大破・倒壊などの被害がない以下の地区では、30分程度で周辺街区(20-30棟)について、被害状況のみを調査した。

- ・K-NET 富来(志賀町富来香能)
- ・JMA 富来(志賀町富来領家町)

・K-NET 能登（能登町^{うしつ}宇出津）

これらの地点に加えて、地震観測点ではないが、この地震でもっとも深刻な建物被害が生じたと思われる輪島市門前町道下地区についても簡略に調査を行った。

2. 地震と強震観測記録

2.1 地震の概要

地震の概要を表1に示す。3月25日午前9時42分に能登半島沖を震源とするM6.9の地震が発生し、輪島市鳳至（旧輪島市中心街）、輪島市門前町（旧門前町）、穴水町、七尾市で震度6強、志賀町富来、能登町宇出津などで震度6弱の揺れが観測された。また、3月25日18時11分にM5.3、3月28日8時8分にM4.9の余震が発生し、最大で震度5弱の揺れが観測されている。

表1 地震の概要

発生日時	3月25日午前9時42分	
震央	能登半島沖 37° 13.2'N, 136° 41.1'E	
震源深さ	約11km	
規模	M6.9	
震度	6強	輪島市鳳至町、輪島市門前町走出、穴水町大町、七尾市田鶴浜町
	6弱	輪島市河井町、志賀町富来領家町、志賀町香能、志賀町末吉千古、中能登町末坂、中能登町能登部下、能登町宇出津、能登町松波
	5強	七尾市本府中町、七尾市袖ヶ江町、珠洲市正院町
人的被害	死者1名、重傷25名、軽傷254名	
住家被害	全壊379棟、半壊437棟、一部損壊3085棟	

（4月3日現在の気象庁及び石川県のHPによる）

2.2 強震観測記録

今回の地震による強震記録は防災科研 K-NET および気象庁によって公開されており、筆者らが調査を行った地点でも複数の強震記録が得られている。各観測点における観測地震動とその周辺の状況を表2に示す。

このうち図2に輪島および穴水で観測された強震記録の時刻歴波形を示す。K-NET 輪島の観測点は小高い丘の麓に位置し、岩盤上に設置されている一方、JMA 輪島は市内を流れる輪島川の河口付近

にあり、軟弱地盤上に設置されていることが想像される。JMA 輪島および K-Net 穴水での強震記録からは明らかに地盤の非線形化による波形の長周期化が読み取れる。また、K-NET 穴水の観測点周辺では後述のように噴砂が見られ、地盤の液化化が発生した可能性がある。

表2 観測記録と周辺の状況

観測点	方向	PGA (gal)	PGV (cm/s)	計測震度	観測点周辺の地盤状況
JMA 輪島	NS	463.6	91.7	6.1	輪島川沿いの軟弱地盤と思われる。地方合同庁舎周辺は地盤沈下あり。川沿いの市中心部は昔は田圃が多く、洪水時は浸水（住民談）
	EW	438.8	83.3		
	UD	189.7	16.6		
K-NET 輪島	NS	519.1	38.9	5.6	小高い丘の麓、岩盤上に設置。周辺は100年くらい前までは田圃。市内洪水時でも浸水せず（住民談）
	EW	396.0	21.9		
	UD	141.5	13.0		
K-NET 穴水	NS	472.9	36.6	6.3	川沿いの公園内に設置。付近の道路に液化化による噴砂あり。川沿いの敷地で、地下水位の高い軟弱地盤と思われる。
	EW	780.4	96.6		
	UD	555.7	18.1		
K-NET 富来	NS	716.9	33.7	5.9	実験農場内の敷地に設置。農場の建物以外、周辺に家屋なし。岩盤の上、5mほど火山灰質粘性土が堆積。
	EW	849.0	46.5		
	UD	462.2	18.6		
JMA 富来	NS	276.0	24.5	5.6	周辺は屋根瓦被害多数。家屋の構造被害はほとんど見当たらない。
	EW	507.2	49.6		
	UD	452.4	15.0		
K-NET 能都	NS	622.0	24.8	5.5	病院敷地内に設置。主に粘性土。地下水位は高いと思われる。周辺に土蔵の土壁剥落などの被害あり。
	EW	588.6	18.9		
	UD	146.9	7.0		
JMA 宇出津	NS	235.4	48.9	5.6	被害状況は K-Net 能都に同じ。
	EW	147.0	20.4		
	UD	118.1	6.4		

地震の建物応答への影響を検討するため、減衰5%および10%で求めた S_a - S_d 曲線を図3に示す。3本の点線は等価周期を表す。いずれも等価周期1秒~2秒の間で建物に大きな変形を引き起こす特徴が見て取れる。また、JMA 輪島の記録はK-NET 輪島に比べ大きなパワーを持つ強震記録であることがわかる。K-NET 輪島観測点とJMA 輪島観測点は直線距離で約1km離れているが、図2の時刻歴波形からもわかるように、両地点での揺れの特徴は大きく異なっており、局所的な地盤条件の違いが影響したと考えられる。

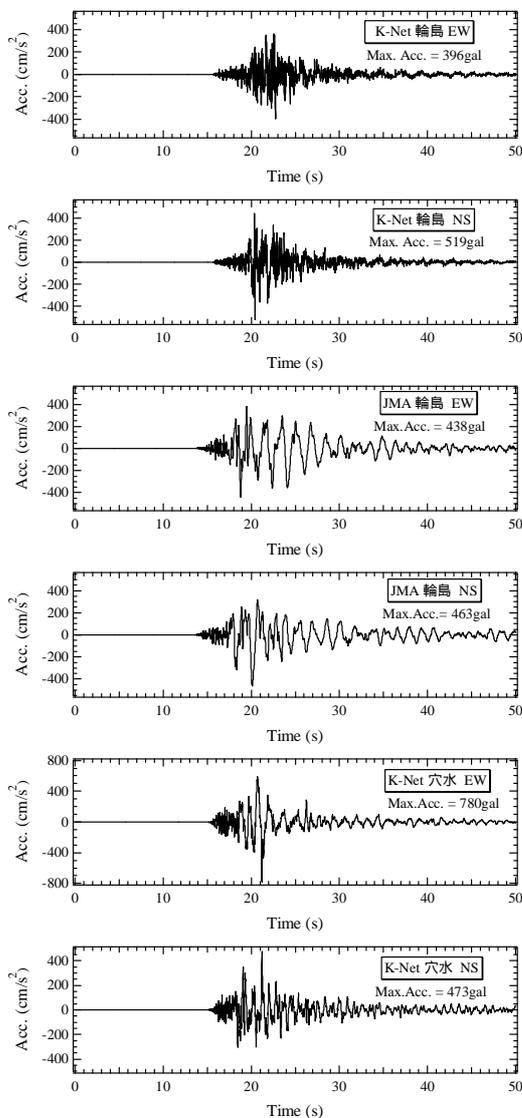


図2 加速度時刻歴波形
(K-NET・JMA 輪島、K-NET 穴水)

図4には最大加速度(PGA) - 最大速度(PGV)の関係を示す。図はEW・NS両成分についてプロットしている。輪島、穴水での強震記録の他、被害調査を行った能都、富来の強震記録から得られた結果も合わせて示す。

JMA 輪島とK-NET 穴水では最大速度(PGV)が80~100cm/sと推定され、建物被害への影響が比較的大きな地震と考えられる。それに比べると、富来や能都の記録はやや短周期成分が卓越する地震動であり、建物被害への影響は比較的小さいと思われる。

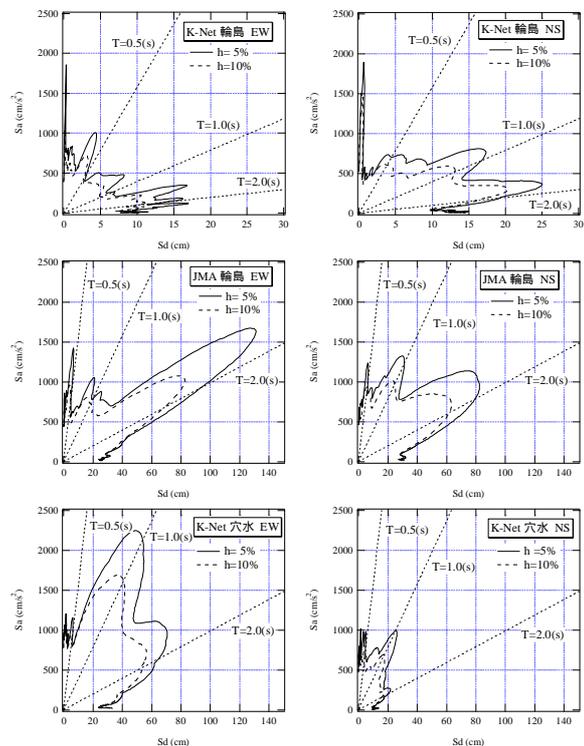


図3 S_a - S_d 曲線 (K-NET・JMA 輪島、K-NET 穴水)

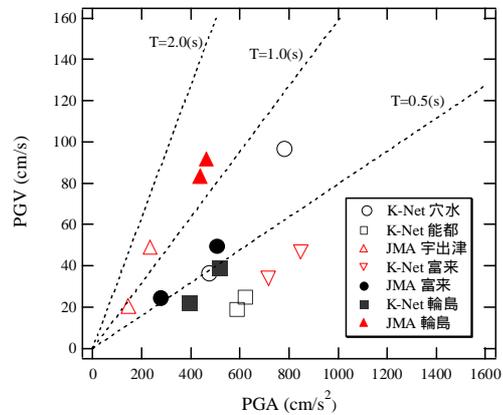


図4 最大加速度(PGA) - 最大速度(PGV)の関係

3. 調査地点の被害状況

以下では、強震観測点（K-NET、震度計）付近の詳細調査を行った地区を中心に、調査地点ごとの被害概要を示すとともに、地震動との関係を考察する。

3.1 輪島市鳳至町（震度計：震度6強）

旧輪島市中心街の輪島川西岸の平坦地の住宅街である。液状化や地盤変状の痕跡は特に目立たなかった。詳細調査した51棟中4棟が大破したが、これらは全て、非常に古く壁の少ない木造住宅であった。ただし、一見すると外壁に損傷がほとんどない住宅でも、障子紙の破れ（写真1）や、屋根の衝突の痕跡（写真2）が見られ、地震時には大きな変形が生じたと推定される。



写真1 住宅の障子紙の破れ
（外壁に大きな損傷はなし）



写真2 隣家の外壁と衝突し破損した雨樋
（外壁に大きな損傷はない）

3.2 輪島市河井町（K-NET 輪島：震度6弱）

旧輪島市中心街で、輪島川東岸で、JMA 輪島の東約1kmの付近の住宅街である。道路のアスファルトの割れが見られたが、輪島川沿いの地区と比べると少ない。K-NET 周囲の約50棟を詳細調査したが、大破・倒壊した建物はなかった。ただし、調査した地区の北側（海側）や西側（輪島川沿い）に隣接する地区では、大破・倒壊した建物や取り壊し工事中の建物が複数見られた。

3.3 輪島市門前町（震度計：震度6強）

門前町は、強震・震度観測点の中で最も震源に近く、甚大な被害を受けた地区である。国道249号線では、旧門前町中心街の高根尾から道下付近では、液状化・地盤変状によると思われる路面の沈下・陥没（写真3）が目立ち、路面のマンホールや国道の橋梁で土盛り部分の沈下をアスファルトで補修した箇所が多く見られた。

走出地区の輪島市門前総合支所（旧門前町役場）付近は、総持寺のいわゆる門前町であり、古い商店と住宅が混在する地区である。詳細調査では、大破・倒壊が約20%であった。門前町では計測震度6強が観測されているが、加速度記録は残念ながら現在のところ公開されていない。

また、走出地区から約2km西（震源に近づく方向）の道下地区は、古い木造住宅が多い住宅街であり、調査地点の中で最も甚大な被害を受けた地区である。道路に面した住宅の半数程度が大破・倒壊した場所もあり（写真4,5,6）震度7に近い被害という印象であった。



写真3 液状化により沈下したと思われる路面



写真4 門前町道下地区の全壊した住宅



写真5 門前町道下地区の被害状況



写真6 門前町道下地区の被害状況

3.4 穴水町大町 (K-NET 穴水：震度6強)

K-NET 穴水観測点は、川沿いの公園内に設置されており(写真7)、公園前の道路では液状化による填砂の痕跡(写真8)が見られた。また、公園横の川の護岸の破損が数箇所見られた。建築物の被害は、この観測点付近の数百mの範囲に限られており、この地区には木造住宅を中心に大破・倒壊が20%程度であった。



写真7 K-NET 穴水観測点
(隣の住宅は外観では被害なし)



写真8 K-NET 穴水観測点の公園前の道路
(路面の割れと填砂が見られる)

3.5 志賀町富来 (K-NET、震度計：震度6弱)

志賀町富来では、K-NET(香能)震度計(領家町)とともに震度6弱が観測されているが、これらの観測点付近では、住宅の大破・倒壊などの大きな被

害は見られなかったが、屋根瓦のずれなどの被害は半数程度の建物で見られた（写真 9）。これらの地点の地震観測記録は、比較的短周期成分が卓越する地震波であったため、構造被害は少ないが、屋根瓦の被害に影響したと思われる。



写真 9 屋根瓦に被害が生じた住宅

4. 地震動と建物被害率の関係

以下では、調査を行った区域の建物被害と地震動の比較・考察を行う。

被害調査した建築物は、JMA 輪島付近の 51 棟、K-NET 輪島付近の 48 棟、門前町役場付近の 65 棟、K-NET 穴水付近の 49 棟である。図 5 には筆者らの調査に基づく地域別の被害率を示す。震度 6 強を観測した JMA 門前町と K-NET 穴水の被害が特に大きく、大破・倒壊率が 20%を超えている。

各地区の被害程度と地震動の関係を調べるために、調査した観測点周辺の被害率と観測波形から求めた計測震度を表 3 に、それらの関係を図 6 にそれぞれ示す。ただし、観測波形が得られていない門前町走出地区の計測震度は、公開された震度階級 6 強の中間値を取って 6.25 とし、同町道下地区の計

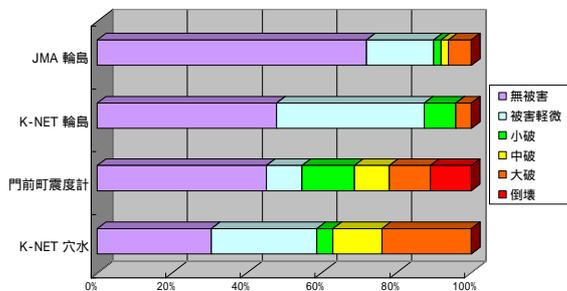


図 5 地域別被災度

測震度は表層地盤の増幅を考慮し推定¹⁾した値を用いた。震度の推定方法の詳細は、文献 1)を参照されたいが、推定したい地点の周囲の観測点の計測震度から表層地盤による増幅の影響を取り除き、線形補間して求めた震度に推定地点の表層地盤の増幅を考慮して求めた。表層地盤の増幅率は、防災科学技術研究所の「500m メッシュ地形分類データ」(http://www.j-map.bosai.go.jp/j-map/500m_dl/index.html)を使用した。さらに、推定震度から被害率曲線²⁾により推定した被害率を表 3 に合わせて示す。

被害率として大破・倒壊率を採用することとすると、K-NET 穴水付近、門前町走出、門前町道下において被害率が 20%を超えており、推定した被害率よりも大きくなっている。また、図 6 において建物被害率と計測震度の関係を比較すると、計測震度

表 3 調査地区の計測震度と大破・倒壊率

	調査地	計測震度	大破・倒壊率	推定被害率
重点調査	K-NET 穴水	6.33	22.4	11.2
	K-NET 輪島	5.61	4.2	1.1
	JMA 輪島	6.15	5.9	6.9
簡易調査	KiK-net 柳田	5.48	0.0	0.6
	K-NET 能都	5.55	0.0	0.9
	K-NET 富来	5.93	0.0	3.5
	JMA 富来	5.65	0.0	1.3
重点調査	門前町走出	6.25*	21.5	9.1
簡易調査	門前町道下	6.44*	25.9	14.7

*：地震動が観測されていないため推定した震度

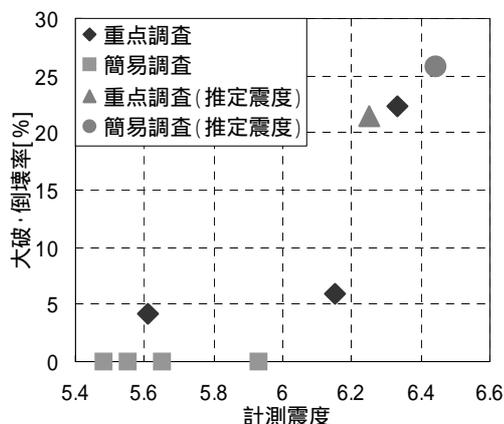


図 6 計測震度と大破・倒壊率の関係

が6.0を超える地区に大破・倒壊以上の被害が生じており、6.0を下回る地区では、大破・倒壊などの深刻な構造的被害はほとんど見られていないことがわかる。このうち計測震度が6.0以下であったが比較的被害の大きかったK-NET 輪島周辺については、前述の通り観測点が丘の麓に位置していることから、街区の方では観測地点よりも強い地震動が生じた可能性が推察される。また、6.0に近い震度が計測されたK-NET 富来については、周辺に建物が少なかったことに加え、短周期寄りの地震であったため瓦や自動販売機などの移動が見られただけで、構造物の被害は見られなかった。

次に、輪島市及び能登町のHPで公開されている地区ごとの被害集計結果(全壊、半壊棟数)と各地区の世帯数から全壊率と全半壊率を概算したものを、前述と同様に推定した震度・被害率と合わせて表4に示す。推定被害率と全壊率を比較すると、震源近辺で観測点がなく震度が推定しにくい地区を除いて概ね近い値となっていることが分かる。

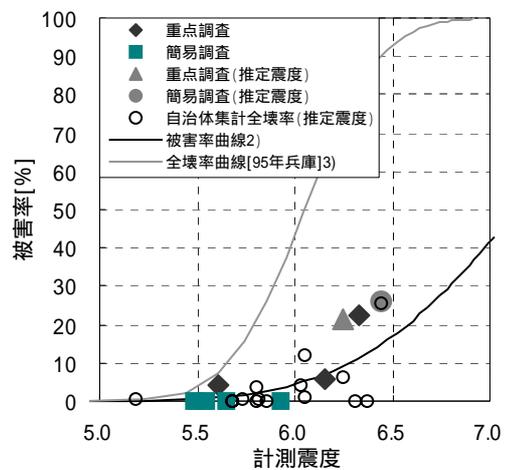
筆者らの調査による大破・倒壊率に加えて、概算した全壊率、全半壊率と震度の関係を図7に示す。図中には、境らによる被害率曲線²⁾、及び、村尾・山崎による1995年兵庫県南部地震の木造建物の被害率曲線³⁾をあわせて示した。

市町村集計の住家全壊率と筆者らの調査に基づく大破・倒壊率を比較すると、調査範囲の違いによ

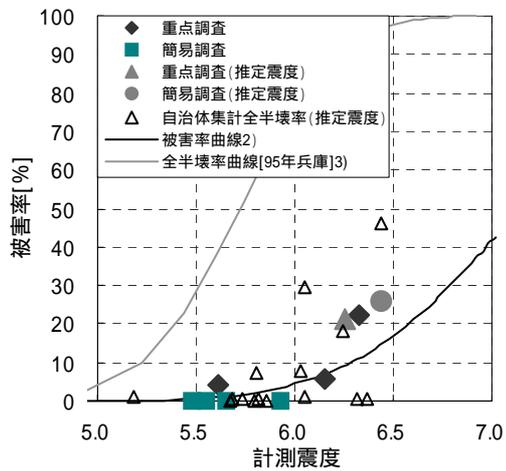
表4 市町村集計に基づく概算被害率と推定震度

	推定震度	推定被害率	全壊率	全半壊率
河井地区	5.80	2.2	3.8	7.1
鳳至地区	6.03	4.8	4.2	7.8
輪島崎地区	5.68	1.4	0.0	0.4
大家地区	6.06	5.2	1.0	1.3
河原田地区	5.81	2.3	0.5	0.5
鶴巣地区	5.19	0.2	0.5	1.1
三井地区	5.86	2.7	0.0	0.0
門前地区	6.25	9.1	6.3	18.1
仁岸地区	6.31	10.7	0.2	0.5
阿岸地区	6.37	12.5	0.0	0.4
黒島地区	6.05	5.1	12.0	29.8
諸岡地区	6.44	14.8	25.6	46.2
本郷地区	5.80	2.2	0.0	0.0
浦上地区	5.73	1.7	0.3	0.3
能登町	5.68	1.4	0.0	0.0

る差異が門前町走出などに一部見られるものの、筆者らの大破・倒壊率と自治体の全壊率が概ね一致することがわかる。また、1995年兵庫県南部地震の被害率曲線と比較すると筆者らの調査、自治体の集計とも全体的に低い被害率を示しており、2003年宮城県北部連続地震や2004年新潟中越地震と同程度の被害率となっている。これらの差異は、阪神地区と雪国である能登、新潟、宮城などの住宅の構造特性などが影響していると考えられるが、今後の詳細な検討が必要である。



(a) 全壊率



(b) 半壊率

図7 全壊率および全半壊率と大破・倒壊率

5. 建物特性と被害の関係

大破・倒壊などの深刻な建物被害が見られた地区の建物全数調査より得られた結果から、被災地域別の構造特性と被害の関係について統計的に検討する。以下の検討では、JMA 輪島 51 棟、K-NET 輪島 48 棟、門前町震度計 65 棟、K-NET 穴水 49 棟の建物の調査結果のうち、木造建物のデータを用いた。

図 8 は被害調査の際に行った外観から調査した建物年代区分【非常に古い（築 25 年以上で新耐震設計以前と思われるもの）、古い（築 25～10 年）、新しい（築 10 年以下）、不明】のうち、特に被害が多かった非常に古いと古い年代区分の地域別被災度を示す。年代区分ごとの割合で新しい建物は全体の 10%未済であり（図 9）外観からの大まかな年代区分であるため、年代を必ずしも正確に調べられていないが、今回の被災地は古い住宅が多い地域であったと言える。被害は非常に古い年代区分の建物が最も著しく、門前町では古い年代区分の住宅にも被害が見られた。いずれにしても、被害はいわゆる古い建物ほど顕著であったと思われる。

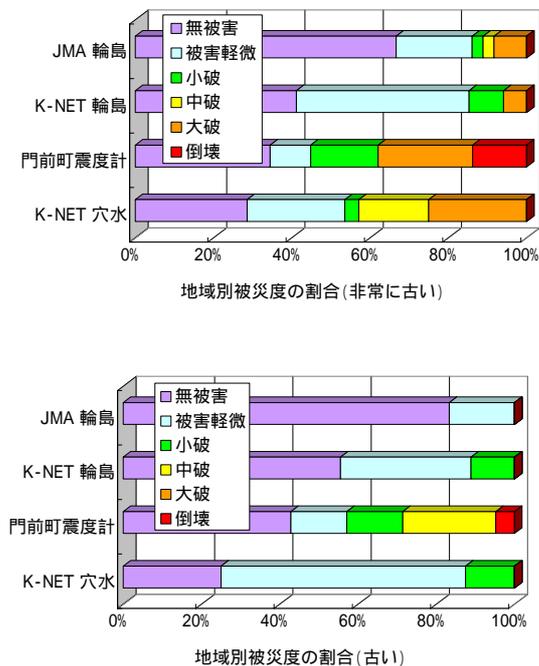


図 8 建物年代と地域別被災度

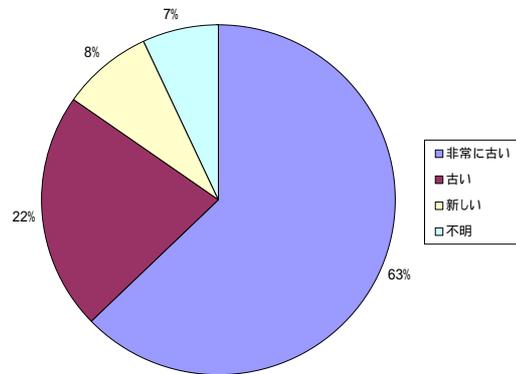


図 9 建物年代と地域別被災度

図 10 は建物用途と被災度の関係を示す。用途別に見ると土蔵の被害率が非常に大きく、土蔵に関しては倒壊した事例はなかったものの、小破以上が 9 割近くで土蔵の大多数はこの地震によって何らかの被害を受けたと考えられる。併用住宅（店舗付き住宅が多い）や店舗で被害が戸建専用住宅より大きくなっているのは、店舗部分は道路に面した構面のほとんどが開口で壁がなく耐震性が低いためと考えられる。

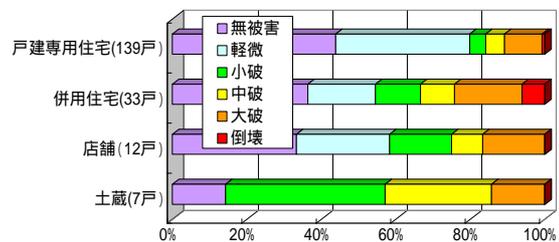


図 10 建物用途と被災度

図 11 は特に被害が大きかった門前町走と K-NET 穴水の木造建物の簡易壁量と被災度の関係である。これは道路に面した構面で大まかに無開口壁、窓開口と出入り口開口の長さを計測し、それぞれの開口長さに 1 間あたりの水平耐力の割合（壁：窓：出入り口 = 1 : 0.5 : 0）を設定し、重み付け平均して道路に面した構面の壁量を算定し、簡易壁量と呼ぶこととした。簡易壁量は道路に面した構面のみを簡略な壁量の推定であり、建物全体の壁量を正確に評価できるものではないので、簡易壁量と被災度の関係には大きなばらつきがあが、被害が大き

なるほど右下がりの傾向、すなわち被害が大きいほど壁量が少なくなることがわかる。特に各被害の最大壁量でもこの傾向があり、壁量と被災度の関係には何らかの関係があると考えられる。大破した建物では、簡易壁量が50%以下であり、倒壊した建物は、壁量が0である。一方、土蔵は、一般的に開口が少ないので壁量は住宅よりの多いが、被害率は住宅よりも高いことがわかる。

づく兵庫県南部地震の建物被害関数(日本建築学会構造系論文集 第527号 pp.189-196,2000年1月)

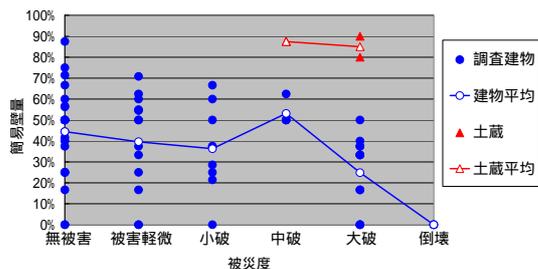


図 11 簡易壁量と被災度

6. まとめ

本稿では、能登半島地震による木造住宅を中心とした被害調査の結果と、被災地域で観測された地震動の特徴を報告した。また、観測地震動から推定した各地の震度分布と、それに基づいて推定した住宅の被害率の推定結果が、実際の被害状況と概ね一致していることを示した。

調査に際しては、防災科学技術研究所 K-NET、気象庁地震情報、及び、先に被害調査を行われた各位の情報を活用させていただいた。地震災害直後の忙しいなか、被害状況を説明していただいた被災地の関係各位に厚く御礼申し上げますとともに、被災住民の方々の方が一日も早く旧に復することを祈願する。

参考文献

- 1) 菅原裕太、小原学、三辻和弥、前田匡樹：建築物の震災復旧支援システムの開発 宮城県の公共施設の地震直後における被害推定手法の検討 (日本建築学会 2006 年度大会学術講演梗概集 B-2 構造 pp.351-352)
- 2) 境有紀、瀧澤一起、神野達夫：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 第 555 号 pp.85-91, 2002 年 5 月)
- 3) 村尾修、山崎文雄：自治体の被害調査結果に基