

2000年鳥取県西部地震における境港市高密度アンケート調査

Dense Questionnaire Survey in Sakaiminato City of the Oct. 6, 2000, Tottori-ken Seibu Earthquake

小山真紀¹, 太田裕¹, 西田良平², 清野純史³

Maki KOYAMA¹, Yutaka OHTA¹, Ryohei NISHIDA², Junji KIYONO³

¹ 東濃地震科学研究所

Tono Research Institute of Earthquake Science

² 鳥取大学工学部

Faculty of Engineering, Tottori Univ.

³ 京都大学大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Kyoto Univ.

This paper reports a study on spatial distribution of seismic intensity and damage to dwellings, based on dense questionnaire survey in Sakaiminato city for the Oct. 6, 2000 Tottoriken-Seibu earthquake (Mj=7.3). Sakaiminato city locates nearly 30km far from epicenter, however in this area severe intensities as 6(+) and 6(-) on the JMA (Japan Meteorological Agency) Seismic Intensity Scale were recorded by the seismic intensity meter. And, these are as high as intensities in the epicentral area. We distributed questionnaire sheets to all the households in Sakaiminato city and received 2796 answers (about 20%). The questionnaire sheets consist of 2 parts. The first part asks family members, type of structure, damage of dwelling, human casualties and so on. In the second part the ready-made questionnaire to determine seismic intensity non-instrumentally was attached.

The following results were obtained:

- 1) The observed intensities cover a range from 3 to 7 on the JMA scale in spite of small area of 4km x 7km approximately.
- 2) Obtained seismic intensities in our questionnaire survey were slightly but significantly lower than those by JMA's instrumental ones.
- 3) Questionnaire seismic intensity and damage to dwellings was in good concordance in Sakaiminato city.

Keywords: 2000 Tottoriken-Seibu earthquake, questionnaire survey, Sakaiminato city, Seismic Intensity, building damage

1. はじめに

2000年10月6日午後1時30分ごろ鳥取県西部を震源とする地震が発生した。この地震では震源地から北方に約30km離れた境港市において、震源付近の日野町と同程度である震度6強(東本町)、6弱(上道町)が記録された。消防庁震度ネットワークによって得られた調査地域周辺の震度分布¹⁾(畑山・座間:2000)を図1に示す。そこで我々は震度6環境下の地域応答(震度分布、物的・人的被害、建物構造など)を詳細に調査することを目的として、2001年3月に境港市の全世帯を対象としてアンケート調査を行った。ここではこの調査の概要と調査結果について報告する。

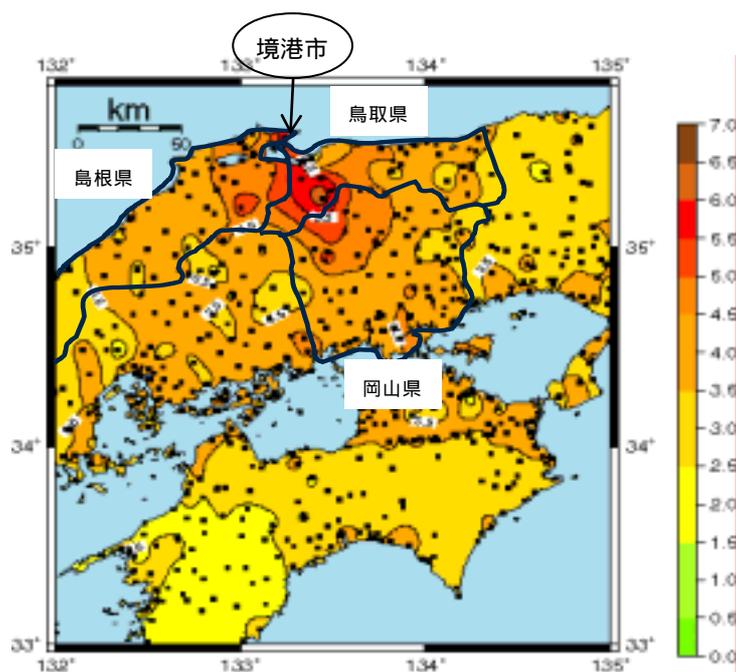


図1 調査地域周辺の震度分布。
(畑山・座間による震度分布に加筆)

2. 調査の概要

境港市には約13,800世帯があり、このすべてを対象として調査を行った。原則として世帯主を回答対象者とした。調査票は2部構成となっており、第1部は回答者の属性、家族、家財被害、建物構造など、建物・人的被害に関する設問群であり、第2部はアンケート震度²⁾算出用の設問群となっている。アンケートによる震度調査は長年行われてきている手法であり、旧気象庁震度とほぼ対応する震度値を算出できるものである。これを市報に挟み込む形で配布し、一緒に添付した封筒により郵送で回収する方法で行った。回収率は約20%であり、2,796世帯からの回答を得た。なお、アンケートによる震度の算出手法は筆者らが高震度領域まで拡大した手法³⁾を用いた。参考のため、調査票を付録1に掲載しておく。

3. 解析

3-1. 震度分布

調査票第2部で得られた境港市の震度分布を図2に示す(有効回答 2,390)。これを見ると、市内の震度は3~7の間で広く分布しており、特に5弱~6弱の領域の頻度が高くなっている。境港市の観測点で得られた計測震度はそれぞれ上道町が5.6(震度階級6弱)、東本町が6.0(震度階級6強)であるが、本調査で得られた震度の中央値は5.3であり、計測震度より若干低めの震度分布となっている。本地震においては、実被害と比較して計測震度が大きく算出されているとの報告⁴⁾もあり、アンケート震度が旧気象庁震度(実被害を元にして算出されてきた)との整合を満たすものであるという事をふまえると、この結果と一致する。しかし、計測震度はその観測点で計測されるものであり、境港市全体の震度を代表するものではないことから、計測震度観測点では局所的に高震度であったという可能性も否定できない。これを検証するために、上道町および東本町の震度分布を調べたものが図3である。上道町において、アンケートによる震度の中央値は5.02であり、東本町では5.65であった。これらの値は計測震度と比較してもやはり低い値を示しており、やはり本地震においては計測震度の値が旧気象庁震度と比較して若干高めに算出されていると考えられる。

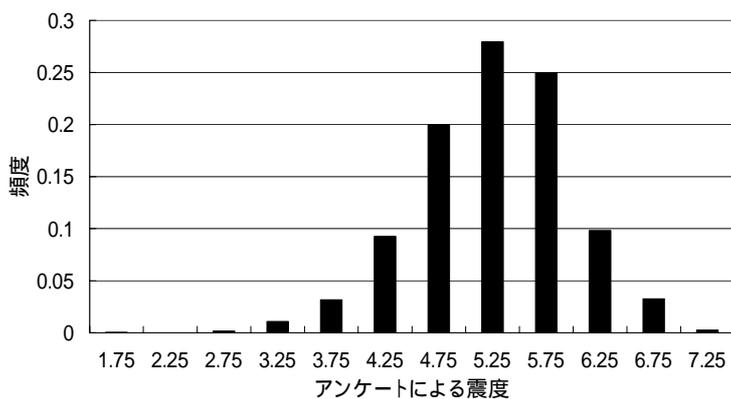


図2 境港市震度分布。

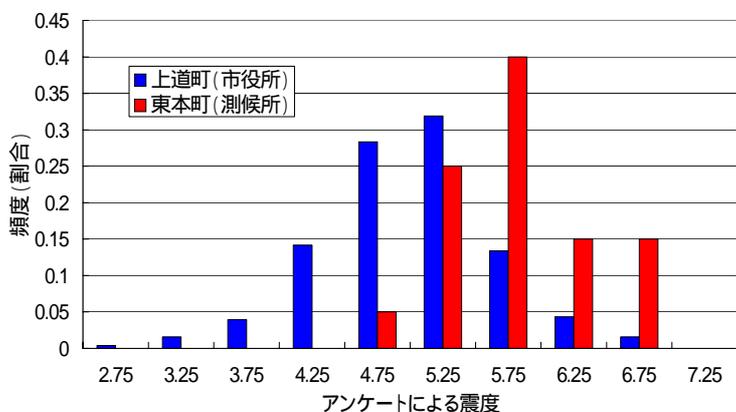


図3 計測震度観測点震度分布。

次に、市内の町ごとの震度中央値から Kriging 法によって算出した市内全域の震度コンターマップを図 4 に示す。この図から、境港市という比較的狭い領域でも震度が一様ではなく、震度差 1 程度の広がりを持っていることがわかる。市内の震度分布の特徴として、市の北部 - 境水道から南に約 500m の所 - に東西方向帯状に高震度領域が見られる。境港市の調査（図 5）によるとこの帯状の地区に建物被害が集中したエリアが見られ、本調査の結果と整合する。なお、コンターマップ作成のための町別震度代表値を中央値としたのは、異常値の影響を少なくするためである。念のため平均値と中央値の比較を行った（図 6）が、両者はおおむね 1:1 の関係にあり、平均値を代表値としたとしても大きな問題はないと思われる。このように平均値と中央値が対応していることから、本調査で得られた町別の震度分布は標準分布を当てはめてよいと思われる。参考のため境港市地図を付録 2 に、コンターマップ作成に用いた基礎データを付録 3 に、町別震度分布と当てはめた標準分布の関係を付録 4 に掲載しておく。

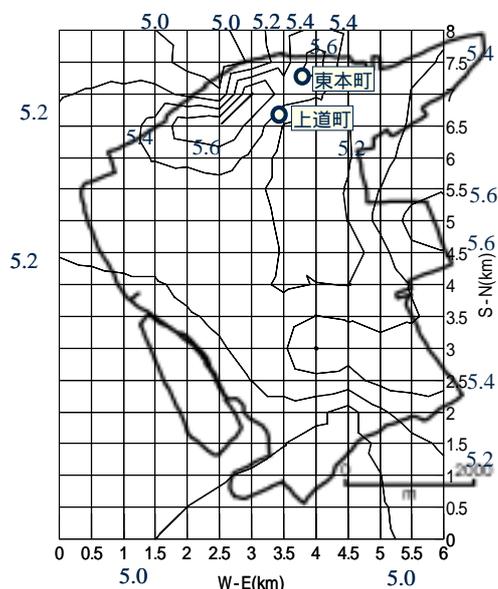


図 4 震度コンターマップ。

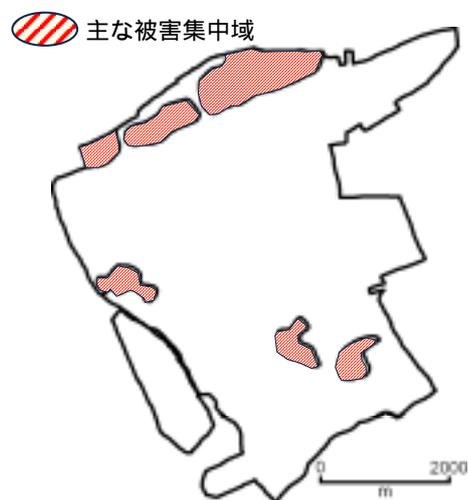


図 5 市調査による建物被害分布。

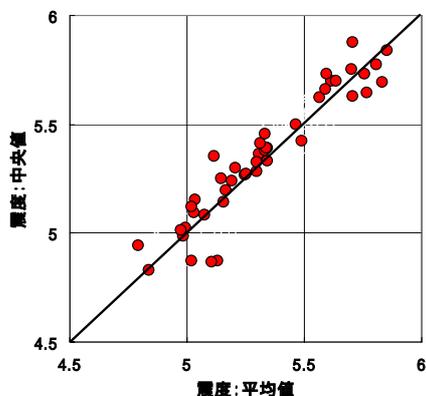


図 6 震度平均値と中央値の比較。

3-2. 物的被害

1) 建物基礎データ

まず境港市の建物の特徴について、全国値との比較を通して見ていくことにする。図7、図8、図9にそれぞれ建物種別、建築時期、建物種別の経年変化を示す。建物種別については、木造建物の割合が高くなっており、全国66%に対して境港市では88%である。建物種別については、いわゆる新耐震以前のものは全国50%、境港市53%と大きな違いはないものの、耐震性能が特に低いとされている戦前（S20年以前）の建物では全国4%に対して境港市では13%となっており、特に古い建物の比率が高くなっていることがわかる。また建物種別の経年変化を見ると、どちらも鉄筋・鉄骨コンクリート造の建物が年々増加しているが、境港市ではその増加率が低くなっており、新築・立て替えの場合とも木造を選択する傾向が強いようである。

次に、境港市の建物種別についてもう少し詳しく見てみると、80%以上が在来木造である（図10）。また、木造家屋の基礎構造について、終戦前の建物においては玉石基礎が約半数を占めていたが、戦後の建物では布基礎が増加傾向にある（図11）。屋根構造については、戦前では土ふき瓦が60%をこえているのに対して戦後急速に土なし瓦への移行が見られる。特に、近年ではスレート瓦が増加してきている（図12）。

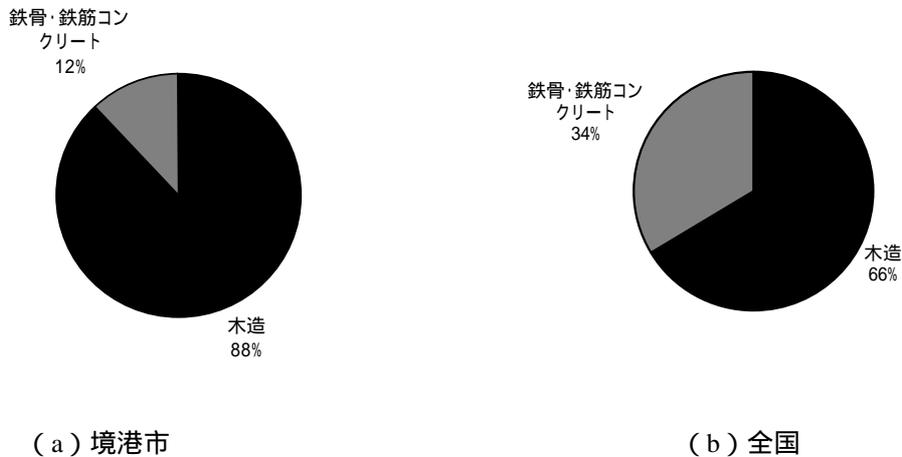


図7 建物種別。

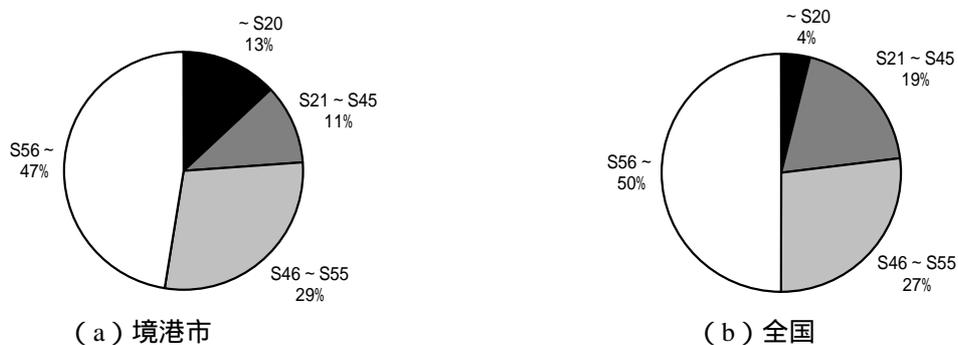
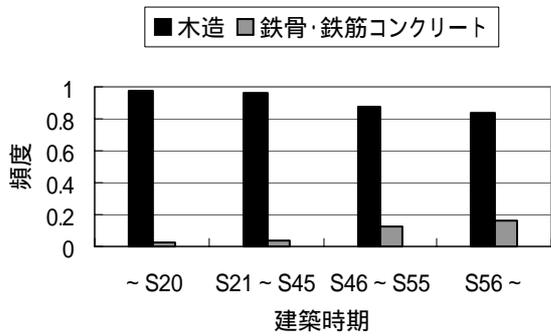
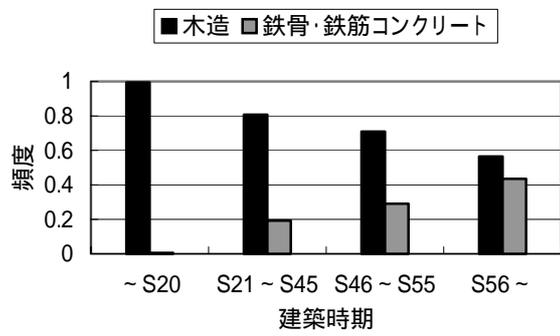


図8 建築時期。

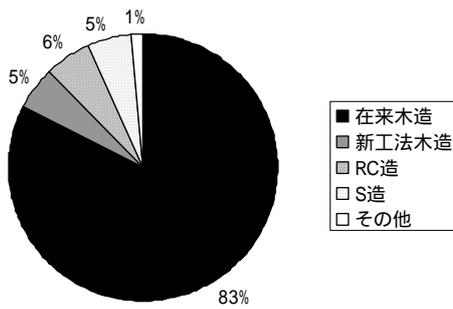


(a) 境港市

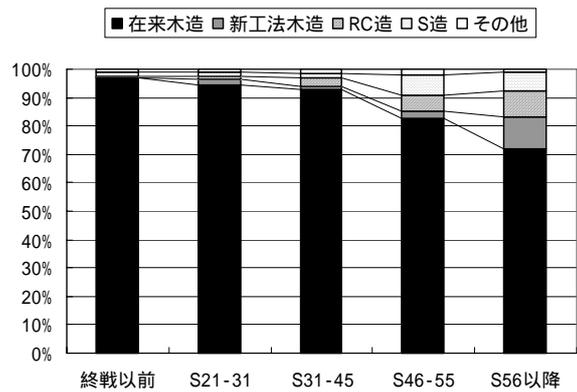


(b) 全国

図9 建物種別の経年変化.

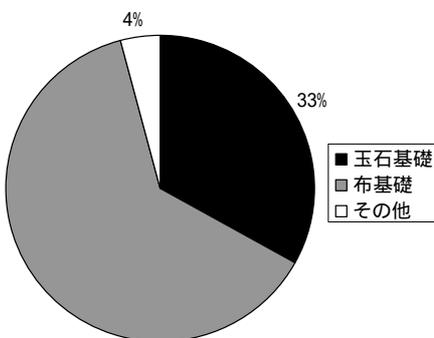


(a) 内訳

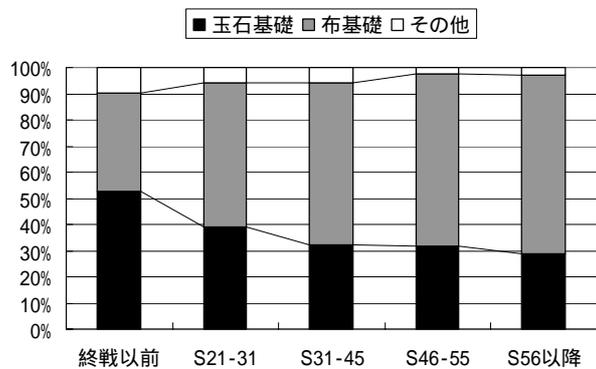


(b) 経年変化

図10 建物種別.



(a) 内訳



(b) 経年変化

図11 木造建物基礎構造.

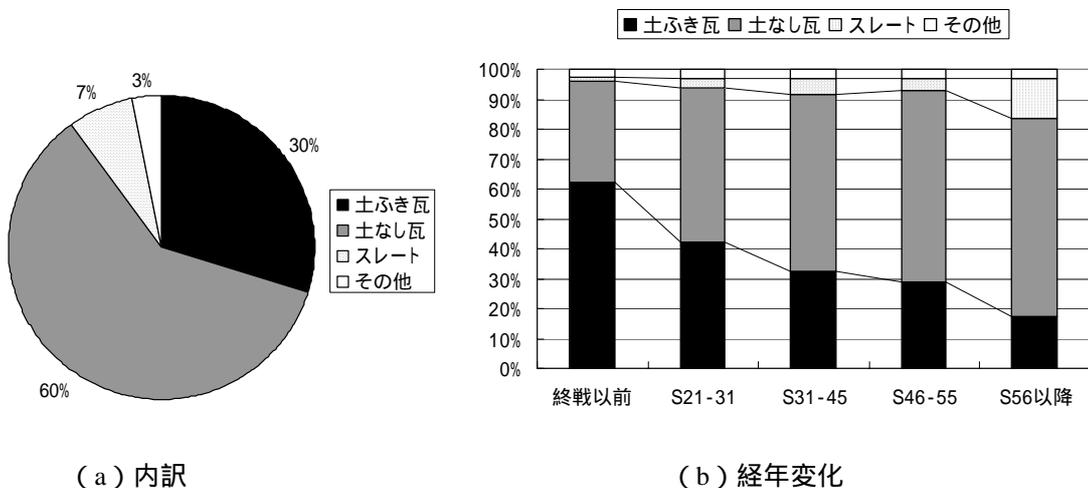


図 12 木造建物屋根構造。

2) 建物被害状況

本調査では建物被害程度の調査に岡田・高井(1999)⁵⁾による破壊パターンを用いて行った。この手法を用いることで、建物の破壊パターンを図示し、当該建物がどのパターン：D0～D5(D5はD5とD5+に区分される)に属するかを選択してもらうことで、専門家でなくとも建物被害状況を簡便に調査することが可能である。破壊パターンと罹災調査時の建物被害区分(全壊・半壊・一部破損)はおおよそ図13のような関係にあり、D4をこえると死者発生と相関の高い全壊に相当する。破壊パターンと罹災調査における被害程度の比較を図14に示す。この図から、罹災調査における被害程度が大きくなるにつれて破壊パターンもより大きい被害を示すものが増加していることがわかる。被害パターンが比較的小規模の破壊よりも分布しているのは、本地震では全壊建物の棟数が少ないこと(該当データ数22件)に加えて同じ全壊でも比較的壊れ方が軽いものが多かった(図15)ことなどが考えられる。次に破壊パターンとアンケートによる震度の関係(図16)を見ると、震度が大きくなるにつれて重程度の破壊パターンに移り変わっていく様子が明確に示されている。特に、半壊以上の被害を示すD3以上のパターンは震度4(図中では3.75～4.25)で起こり始め、震度5強(図中では5.25)から増加率が急速に上昇している。境港市では、震度6強～7に相当する頻度が小さくなっていた(図2)ために、その結果全壊に至る建物が少数にとどまったと考えられる。しかしその直前の震度6弱の頻度はかなり高くなっていることを考えると、激甚災害に至る直前の地震のゆれであったということができよう。なお、町別震度平均値と罹災調査による建物被害程度との関係を図17に示しておく。

建築時期と破壊パターンの関係を図18に示す。全体の傾向として、戦前の建物の被害が大きく、戦後の建物では被害程度が大幅に軽くなっている。また、昭和23年～55年までに建築されたものについては、建築年数が少ない建物になるにつれて若干被害程度が軽いもの

の、ほぼ横ばいである。新耐震以後の建物では、被害程度が一段と軽くなっており、重大な被害を被った建物の軒数が大幅に軽減している。

被害程度	Damage Grade	破壊パターン
無被害	D0	
一部破損	D1	
	D2	
半壊	D3	
全壊	D4	
	D5	D5- 
		D5+ 

図 13 調査に用いた破壊パターン。
(岡田・高井⁵⁾による)

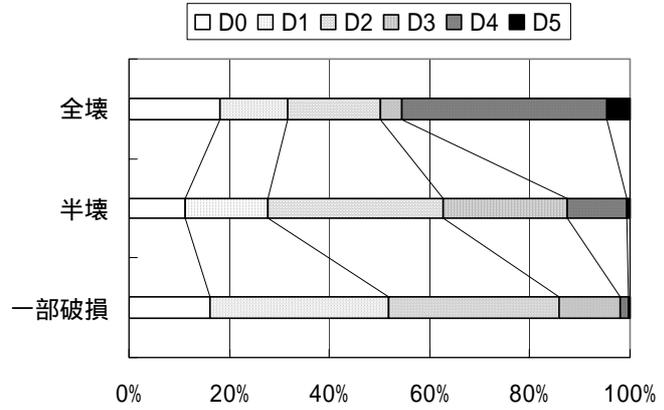


図 14 罹災データと破壊パターン。

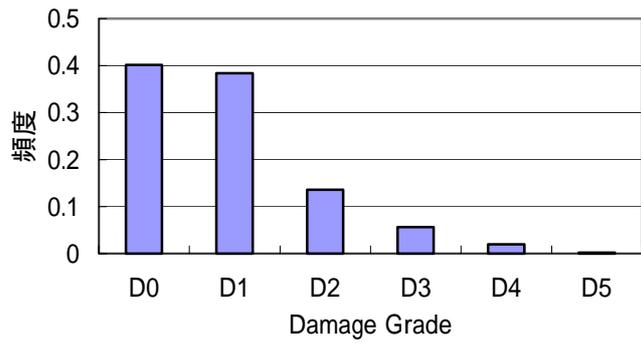


図 15 建物被害分布。

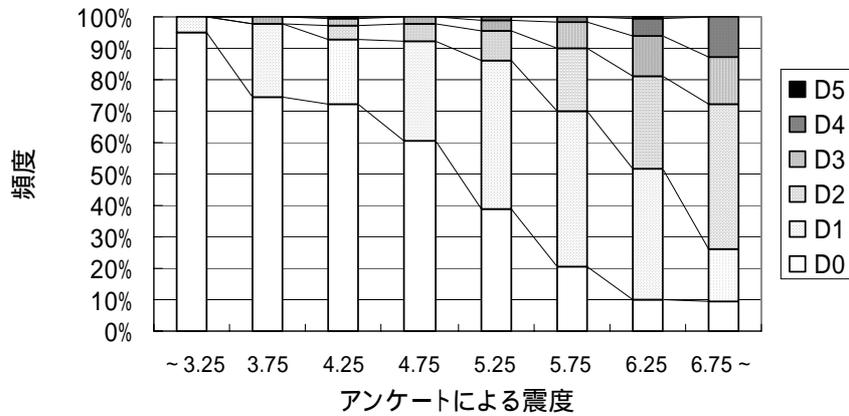


図 16 破壊パターンと震度の関係。

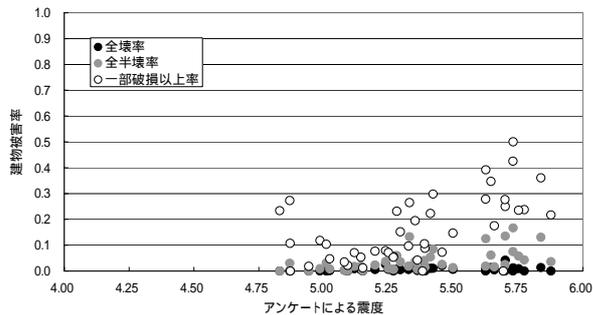


図 17 罹災調査による町別建物被害率と町別平均震度の関係。

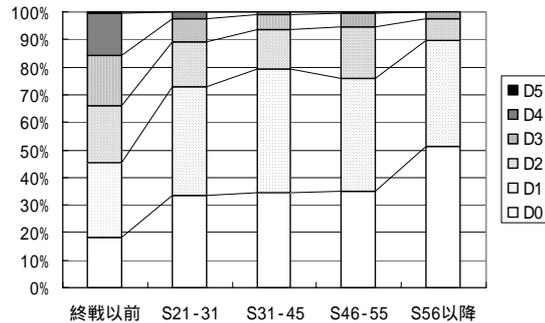


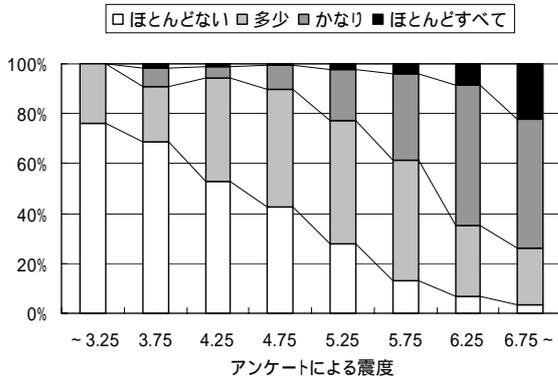
図 18 建築時期と破壊パターンとの関係。

3) 家財被害状況

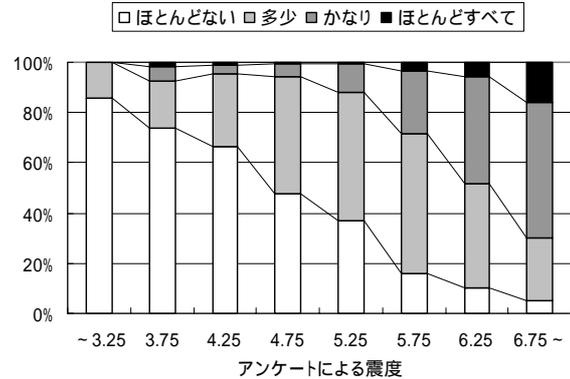
家財の被害状況については以下の4つについて調査した。

- i) 本の散乱・食器等の破損状況
- ii) 重い家具の移動状況
- iii) 重い家具の転倒状況
- iv) 重い家具が飛び上がる等の状況

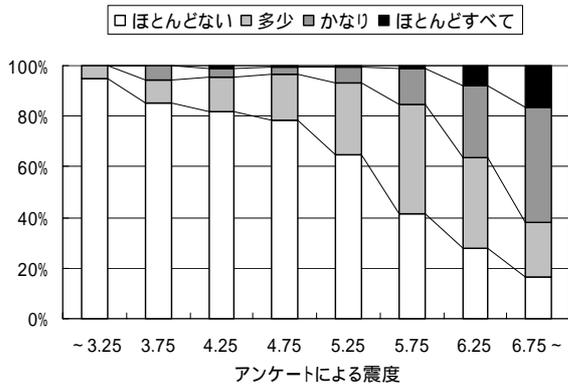
このような状況についてアンケートによって算出された震度との関係を図 19(a)～(d) に示す。震度が大きくなるにつれて被害程度が大きくなっていることが明確に表されている。家財の被害状況全体の傾向として、震度3～4で多少の被害(散乱・移動・転倒など)が見られ、震度5弱をこえると高震度になるにつれて被害程度が急速に大きくなってゆく。本・食器などの破損については震度3で回答の約30%で散乱が発生している。しかしこのときはほとんどが「多少の散乱」であり、被害程度は軽い。しかし震度6弱では散乱の発生が約90%にまで達する。このときには「多少」と「かなり」の散乱がほぼ同程度(約20%)となっており、被害程度も増大していることがわかる。重い家具の移動については、本・食器の散乱に関する分布をちょうど0.5ずつ高震度よりにずらしたような分布を示している。重い家具の転倒および重い家具の飛び上がりではほぼ同様の分布を示しており、震度5弱までは被害の発生は約20%以下である。このときの被害程度も「多少」の割合が多くなっている。しかし震度が大きくなるにつれて被害発生割合も増大し、震度6弱では約60%、震度6強に至ると約70%で重い家具の転倒もしくは飛び上がりが発生している。しかも震度6強では約40%が「かなり」もしくは「ほとんどすべて」であることから、被害程度も重大であることがうかがえる。



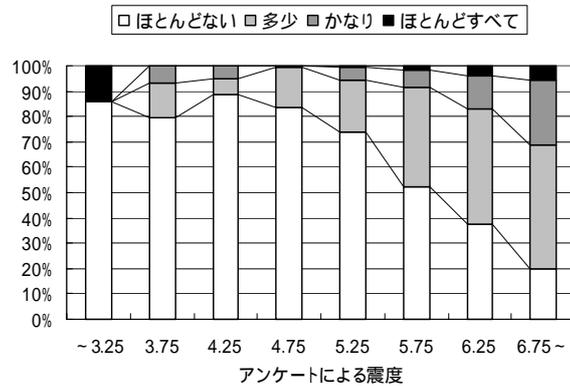
(a) 本の散乱・食器の破損



(b) 重い家具の移動



(c) 重い家具の転倒



(d) 重い家具の飛び上がり

図 19 震度と家財道具の被害 .

3-3 . 人的被害

1) 基礎データ

まず、回答者の年齢構成がどのようになっていたかについて全国と比較したものを図 20 に示す。ここで、回答者というのは、回答世帯およびその家族である。この図から、全国では 10~60 歳人口が多くなっているが、境港市では 40~80 歳人口が多くなっており、高齢化が進んでいる地域であることがわかる。また、在宅率と人的被害発生者数とは相関がある⁶⁾ことが知られており、同程度の地震であっても昼夜では人的被害発生率が大きく異なる。そこで、市内の在宅状況をみると(図 20)、在宅率は 39%であった。仕事等の関係で市内を離れていた人が 23%おり、このうちの約半数が米子市にいたとの回答を得ている。これは、境港市と米子市が隣接しており、米子市街までの距離も約 10km と近接しているため、米子

市のベッドタウンとなっていることによるものであろう。次に在宅者についてその年齢構成を図 21 に示す。この図から 40 代以下の在宅率が激減しており、比較的高年齢の方が主に在宅していたことがわかる。

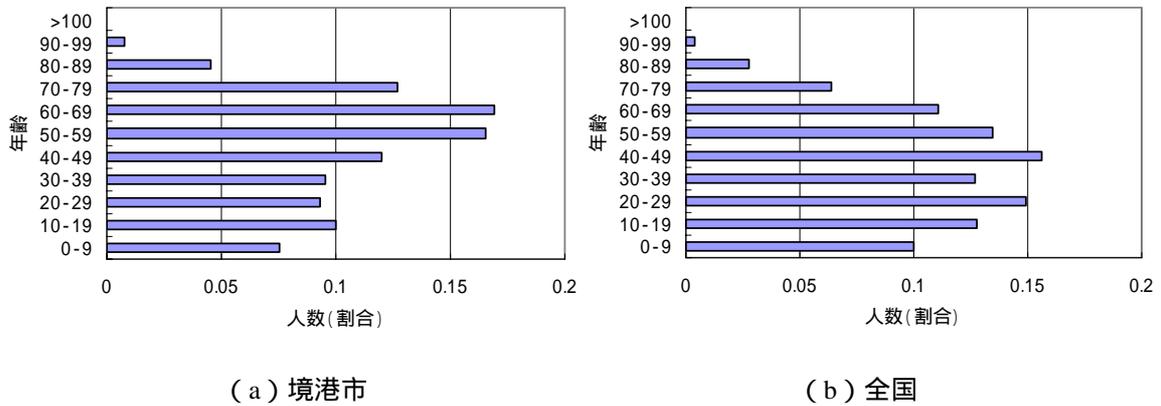


図 20 年齢構成。

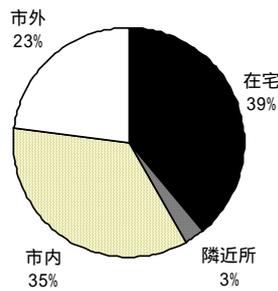


図 21 在宅状況。

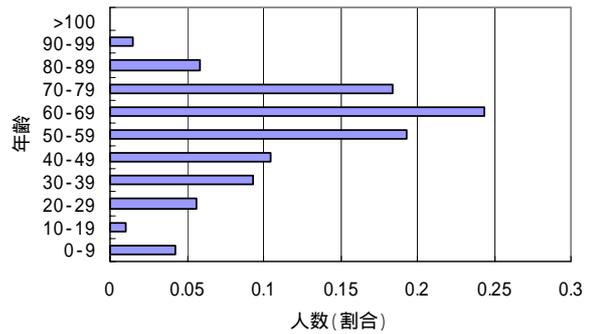


図 22 在宅者年齢構成。

2) 人的被害状況

境港市発表の人的被害状況は、負傷者 86 名（重傷 11 名，軽傷 75 名）であり，幸い死者はなかった。市人口は 37,722 名であり，負傷者割合は約 0.23%（重傷 0.03%，軽傷 0.2%）であった。これは全壊棟数と死傷者数の関係における既存研究⁷⁾を見ても，かなり低い数値であり，本調査においてもおおむね同様の結果を得ている。

負傷者の年齢別頻度分布を図 23 に示す。この図から 70 代の負傷者が飛び抜けて多くなっているようである。これは，一般に高齢になるほど負傷率は上昇傾向にあることと，図 22 で見たとおり 70 代の在宅率が多かったことによるものであると考えられる。負傷者の人数がごく少数であることから，これ以上の詳細な解析は難しい。参考までに年齢別負傷者の実数を表 1 に，在宅状況と人的被害の関係を表 2 に示しておく。在宅状況と人的被害の関係で

は、在宅者の負傷率が高いように見える。表1および2のデータのうち震度を算出できたものについて、アンケートによる震度と人的被害の関係を表3に示す。

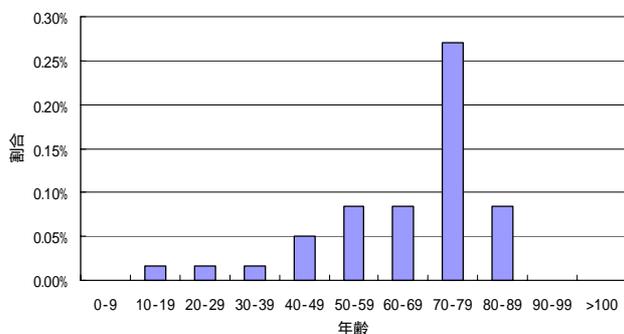


図22 負傷者の年齢別分布。

表1 年齢別人的被害

年齢	けがなし	通院	入院
0-9	539	0	0
10-19	594	1	0
20-29	358	1	0
30-39	446	0	1
40-49	655	2	1
50-59	960	4	1
60-69	1105	3	2
70-79	833	12	4
80-89	317	3	2
90-99	58	0	0
>100	3	0	0
計	5868	26	11

表2 在宅状況と人的被害

	在宅	市内非在宅	市内全体
けがなし	99.14%	99.60%	99.37%
通院	0.69%	0.20%	0.45%
入院	0.17%	0.20%	0.18%

表3 本調査による震度と人的被害の関係

単位:人(震度別割合を除く)

アンケートによる震度	本調査				震度別割合		
	けがなし	通院	入院	計	けがなし	通院	入院
2.75	4	0	0	4	100.00%	0.00%	0.00%
3.25	24	0	0	24	100.00%	0.00%	0.00%
3.75	88	0	0	88	100.00%	0.00%	0.00%
4.25	239	0	0	239	100.00%	0.00%	0.00%
4.75	471	0	0	471	100.00%	0.00%	0.00%
5.25	670	6	2	678	98.82%	0.88%	0.29%
5.75	610	6	0	616	99.03%	0.97%	0.00%
6.25	231	1	1	233	99.14%	0.43%	0.43%
6.75	70	2	0	72	97.22%	2.78%	0.00%
7.25	4	0	0	4	100.00%	0.00%	0.00%
計	2411	15	3	2429			

4. まとめ

震度6環境下における地震応答を詳細に知ることを目的として、境港市において全世帯調査を行った。主な調査項目はアンケートによる震度調査、物的被害、人的被害に関するものである。アンケートによる震度調査の結果から、比較的狭い地域にもかかわらず、市内の震度分布は震度3~7の幅広い領域にわたっており、特に境水道から南に500mほどの地域に高震度領域が見られた。建物については、木造が多数を占めており、その中でも耐震性が弱い戦前に建築されたものの割合が多い。それにもかかわらず、得られた震度の割には被害程度は比較的軽微であった。人的データから、全国と比べて高齢者が多く、特に在宅者においては50~70代の人が大半であった。しかし、このような状況でも人的被害は少数にとどまっていた。

境港市という比較的狭い領域であるにもかかわらず、そのゆれの程度は場所によって広範囲にばらついていて、その結果、被害(付録に掲載)も局所的に異なってくることは想像に難くない。現状では1市町村においては基本的に1つの計測震度しか観測されないが、市町村内の震度が一律ではないという今回の結果を直後対応の観点から鑑みると、計測震度観測点における震度に応じた市内全域の想定震度分布を事前に把握しておくことが重要になるだろう。

参考文献

- 1) <http://www.fri.go.jp/earthquake/index.html> : 畑山健・座間信作, 消防研究所地震防災研究室, 平成12年鳥取県西部地震消防庁震度情報ネットワークによる計測震度とその解析, 2000.
- 2) 太田裕・後藤典俊・大橋ひとみ: アンケートによる地震時の震度の算定, 北海道大学工学部研究報告, 第92号, pp.117-128, 1979.
- 3) 太田裕・小山真紀・中川康一: アンケート震度算定法の改訂 - 高震度領域 -, 自然災害科学, 16-4, pp.307-323, 1998.
- 4) 境有紀・瀬織一起・神野達夫: 強震記録と建物被害データに基づいた「計測震度」の提案, 日本地震学会講演予稿集, 2001年度秋季大会, A53, 2001.
- 5) 岡田成幸・高井伸雄: 地震被害調査のための建物分類と破壊パターン, 日本建築学会構造系論文集, 524, pp.65-72, 1999.
- 6) 例えば, 田村和彦・安藤潤・塩野計司: 人的被害の発生におよぼす地震発生時刻の影響 - 木造建物の震動被害による死者を例として -, 第9回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.2335-2340, 1994.
- 7) 例えば, 塩野計司・小坂俊吉: 地震による死者・負傷者の予測, 総合都市研究, 第38号, pp.113-127, 1989.