

芦屋市をモデルとした兵庫県南部地震による建物被害評価の変換法  
CONVERSION OF FRAGILITY CURVES FOR BUILDINGS  
IN ASHIYA CITY DUE TO THE 1995 HYOGOKEN-NANBU EARTHQUAKE

村尾 修\*, 山崎文雄\*\*, 目黒公郎\*\*  
Osamu MURAO, Fumio YAMAZAKI and Kimiro MEGURO

A number of building damage surveys were carried out for different purposes after the 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake. The damage surveys by local governments intended its use for property tax reduction while the survey by the AIJ & CPIJ group, academic societies, aimed to get technical records. This paper compares these building damage data in Ashiya City, using estimated peak ground velocity and fragility curves. The purpose of this study is to clarify the relationship between the two evaluations. The result obtained could be used to convert the damage rank by local governments to that by the AIJ & CPIJ group.

**Keywords:** *the Hyogoken-Nanbu Earthquake, building damage evaluation, strong ground motion, Ashiya City, fragility curve, GIS*

兵庫県南部地震, 建物被害評価, 地震動, 芦屋市, 被害推定式, 地理情報システム

## 1. はじめに

地震による建物被害の程度を表すひとつの尺度として「全壊率」や「全半壊率」が用いられることが多い。それらは今後の防災における貴重な記録としてだけでなく、被害推定式の重要なパラメータとして被害想定等にも使われる。しかし一口に「全壊」、「半壊」と言っても、その定義は調査によって異なっており、それらを使用する際には注意が必要である<sup>1)</sup>。

1995年1月に発生した兵庫県南部地震では、全壊約11万棟、半壊約14万7千棟<sup>2)</sup>という多大な住家被害を受けた。被災地ではそれぞれ異なる目的でいくつかの建物被害調査<sup>注1)</sup>が実施されたが、方法および判定基準はそれぞれ異なっており、判定結果に大きな影響を与えていたと思われる<sup>1)</sup>。本研究ではその中から、自治体による減免および義援金補助のための「家屋被害調査」と、日本都市計画学会関西支部および日本建築学会近畿支部都市計画部会を中心として構成された震災復興都市づくり特別委員会(以下「震特委員会」)による被災記録のための「被害実態緊急調査<sup>3),4)</sup>」を取り上げ、比較分析を行った。前者は被災者救済のために政府の通達(内閣官房審議室1968「被害認定統一基準」)に基づき、国から義務づけられているもので大地震時には必ず実施されるが、家屋の資産的価値の損失度を見積もることが主たる目的であるため、実際の建物の被害評価という点では緩い基準となっている。一方後者は、阪神・淡路大震災の全体像の把握と今後への学術的貢献を目的として実施された調査である。主に建物が再使用可能かどうかという視点から建物被害

評価を行っており、建築工学・土木工学・都市計画に関わる専門家とそれらの分野を専攻する学生等によって実施されているため、都市防災という観点からすると大変貴重な資料である。被災地域の地震動の面的分布推定には、翠川ら<sup>5)</sup>のように墓石転倒調査から求めることができるが、広域にわたって同一の基準で判定されているこの建物被害調査を用いて求めることも可能である<sup>6)</sup>。しかし、このような調査が今後の大地震時に必ず行われるという保証はない。したがって各自治体によって今後も確実に実施されるであろう「家屋被害調査(建築年・構造等を含む詳細データ)」から、兵庫県南部地震時に震特委員会等が行ったような建物被害判定に変換する評価式を構築しておくことは、今後フラジリティカーブの作成や防衛的な都市計画を進めるうえで大いに役立つと思われる。

本研究では上で述べた評価変換式の構築を目的として、芦屋市における特定地域の一棟一棟の建物を対象として、自治体と震特委員会による建物被害調査の判定結果を比較し、さらに推定される地震動との関係を分析している。

## 2. 芦屋市における建物被害判定結果の比較

### (1) 建物被害調査の概要

以下に本研究で対象とした建物被害調査の概要を示す。

被災者に対する義援金の配分および固定資産税の減免措置は、各自治体によって実施される「家屋被害調査」の判定結果によって行われる。芦屋市では「被害認定統一基準」に基づき作成された独自

\*東京大学生産技術研究所 助手・工修

\*\*東京大学生産技術研究所 助教授・工博

Research Assoc., Institute of Industrial Science, University of Tokyo, M. Eng.

Assoc. Prof., Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Dr. Eng.

の被害調査票をもとに、数回にわたる調査を実施した<sup>7)</sup>。

一方、震特委員会による被害実態緊急調査<sup>3)</sup>は、日本都市計画学会学術委員会と日本建築学会都市計画委員会の間で、淡路島から阪神地域数十キロメートルに及び市街地の、建築物被災の全体像を客観的にデータ化することを目的として実施された。構造種別は明らかでないが、阪神地域というかなり広い範囲での調査である。判定基準は修理・再利用可能性の観点から設定されており、建物の被災度評価は、外観の目視により、ランクC：全壊または大破（以下「大破」）、ランクB：中程度の損傷（以下「中破」）、ランクA：軽微な損傷（以下「軽微」）、無被害の4段階で評価している。

表1に芦屋市と震特委員会による調査内容の比較を示す。芦屋市の調査は建物の資産的価値の損失度を見積もるという側面も含まれているため、建物内部の床・階段・建具・設備等も評価対象となっているのに対し、震特委員会の方は目視による外観調査であるため、建物内部は調査対象から外れている。

筆者らの研究グループはこれまでに兵庫県南部地震における建物被害分析を行ってきたが、ほとんどの地域で自治体の方が震特委員会の判定基準よりも緩くなっている<sup>8)-13)</sup>。

表2、図1に芦屋市における自治体と震特委員会による調査の建物被害棟数と被害率<sup>4)</sup>、<sup>8)</sup>の比較を示す。ただし両調査には、目的、調査地域、対象建物等に違いがあるため、合計棟数は異なっている。この結果から、概して芦屋市の全壊は震特委員会の中破以上、芦屋市の全半壊は震特委員会の軽微以上とほぼ等しいと仮定できる。本研究で一棟一棟の判定結果を比較することにより、より詳細な傾向を見いだすことが可能であろう。

## (2) 研究の方法

研究を進めるにあたり、芦屋市内で被害の大きかった住宅地区を15のエリアに区分し、分析対象地域とした(図2)。各エリアの建物棟数と町名を表3に示す。この中で臨海部にあるN、Oの2エリア(芦屋浜)は地震動よりも液状化による被害が多発した地域であり、また高層集合住宅が多いために比較の木造建物比が小さく、他エリアとは異なった特性を持っている。以上の15エリアについて、芦屋市による建物被害状況<sup>7)</sup>と震特委員会による被災度別建物分布状況<sup>3)</sup>を見比べ、対応のついた12,138棟の建物の被害判定結果<sup>注2)</sup>を比較し、エリアごとの分析を行った。

## (3) エリアごとの建物被害判定結果の比較

対象地域全域での判定結果と芦屋市による建物被害判定に占める震特委員会判定の比率を表4、図3に示す。全壊判定の中では大破が、半壊判定の中では軽微が、その他判定の中では無被害がそれぞれ63%、47%、77%を占めている。また全壊判定の中に無被害が4.5%、その他判定の中に大破が0.6%と正反対の判定も含まれていた。

建物被害調査の判定結果をGIS上に表示し、比較したものを図4に示す。液状化の激しかった臨海2エリアを除き、全体的に震特委員会の中破以上が芦屋市の全壊判定に近く、また軽微以上が全半壊判定に近い傾向を見せている。

図5は芦屋市による建物被害判定ごとの震特委員会判定の内訳である。全壊と判定された建物の中には大破の判定が多く見られるが、特に震度7の帯(図2)の中でその傾向が特に高い。臨海2エリアの内エリアNでは全壊棟数が0であり、エリアOでは芦屋市により全壊と判定されていた建物が軽微な損傷とされているのがわかる。また芦屋市によりその他と判定された建物の大半は無被害と判定されており、震度7の帯から離れたエリアでその傾向が高くなってい

る。以上のことから芦屋市による判定と震特委員会による判定の対応は地震動の強さとも関係がありそうである。

半壊判定は主に中破と軽微な損傷によって占められているが、全壊とその他の中間に位置するためか、その内訳が場所によって大きく異なっている。

図6は芦屋市の全壊判定と震特委員会の中破以上の判定(大破+中破)をエリアごとの率でプロットしたものである。線形近似をとったところ全15エリアでは $R^2=0.98$ 、臨海2エリアを除いた場合は

表1 建物被害調査内容の比較

	芦屋市	震特委員会
調査方法	消防本部職員が目視により損害度合いを調べ判定	専門家・学生等による外観目視
調査員	消防本部部員 再調査は専門家の協力有(3人1組)	建築工学・土木工学・都市計画に関わる専門家・学生等
調査期間	1/23-1/29 2/4-2/10 3/17-3/21	2/1-2/9 2/10-3/13
評価方法	独自の調査票による百分率評価	調査票の定義(構造別)に従って判定
被災度評価判定定義	・全壊：住家滅失(損害程度が50%以上) ・半壊：損壊が甚だしいが、再使用可(損害程度が20%以上50%未満) ・一部破損：全壊および半壊に至らないもので、補修を必要とする程度のもの ・その他：全壊・半壊・一部損壊以外のもの	・ランクC(全壊または大破)：再使用不可/住める見込みが非常に少ない ・ランクB(中程度の損傷)：大幅な修理で再使用可能/大幅な修理で住める可能性あり ・ランクA(軽微な損傷)：軽微な損傷で使用可能/少しの修繕で住める可能性あり ・無被害：見た目に被害がない
木造調査項目	全体傾斜/屋根(天井)/壁(外壁・内壁)/基礎・床/柱/階段/その他	全面的倒壊(使用の可否、傾斜の有無、撤去の状況)/各階の倒壊/傾斜/構造材(基礎の破断、モルタルの剥離・ひび割れ、柱の破壊)/屋根(破損、瓦の落下)/外壁(剥離、剥落)、ガラス窓(落下)/隣棟等による破壊
非木造調査項目	全体傾斜/柱/梁/耐震壁/基礎/外部雑壁/階段/内部壁・仕上/建具/天井/床/設備/その他	各階の倒壊/傾斜/構造材(基礎の破断、柱梁の破壊・座屈、柱脚アンカーの破断、沈下)/外壁(剥離、剥落)

表2 建物被害棟数の比較

判定主体	全壊 大破(C)	半壊 中破(B)	一部損壊 軽微(A)	その他 無被害	合計
芦屋市	4,797	4,222	4,780	1,979	15,778
震特委員会	2,932	1,558	3,438	5,681	13,609

(単位：棟)

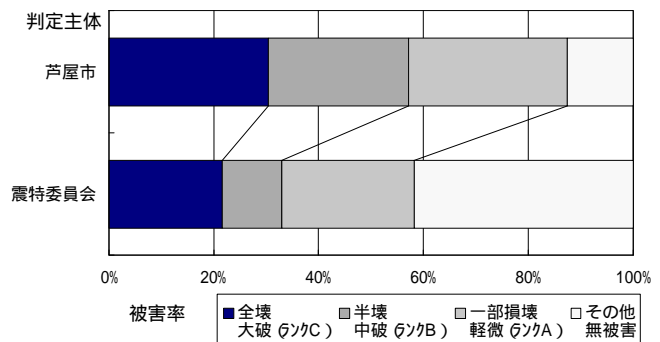


図1 建物被害率の比較

0.97 という高い相関が見られ、共に傾きは 1.09 となった。

次に芦屋市による全半壊の判定と震特委員会による軽微以上の判定の比較を図 7 に示す。まず全 15 エリアについて回帰したところ、点線で示した近似直線のようになり、 $R^2=0.22$  と相関が著しく低くなったため、木造率が低く液状化の激しかった臨海 2 エリアを除外して再度回帰した。その結果、 $R^2=0.80$  まで上がり、傾きは 1.03 となった。臨海 2 エリアのように木造が少ない地域では、建物自体の

被害が小さく、家具の転倒等により内部被害は大きいという事態が発生する。したがって、外観目視による震特委員会の判定と、内部評価を含んだ自治体の判定が大きく異なることが考えられる。図 6 と図 7 の中で、臨海 2 エリアによる影響に違いが見られたのは、こ

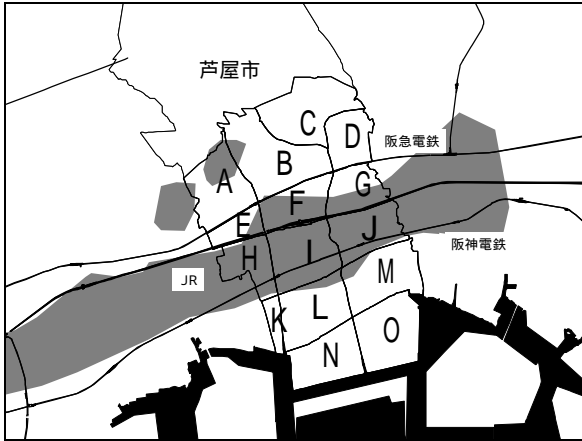


図 2 芦屋市対象地域と震度 7 の帯

表 3 エリアごとの建物棟数と町名

エリア	建物棟数	町名
A	941	三条町・山芦屋町・西山町
B	1,208	山手町・東芦屋町・東山町
C	830	朝日ヶ丘町・六麓荘町
D	604	岩園町
E	537	三条南町・西芦屋町・月若町
F	812	松ノ内町・船戸町・大原町
G	800	親王塚町・翠ヶ丘町
H	733	清水町・前田町・津知町・川西町・平田北町
I	1,401	業平町・公光町・大榎町・茶屋之町・精道町・上宮川町・宮塚町・宮川町
J	1,080	楠町・打出小槌町・春日町・若宮町・打出町
K	142	平田町
L	1,060	浜芦屋町・松浜町・伊勢町・竹園町・呉川町
M	1,014	西蔵町・浜町・南宮町・大東町
N	493	緑町・潮見町・若葉町
O	483	高浜町・新浜町・浜風町

表 4 対象地域全域における建物被害判定結果

		震災復興都市づくり特別委員会				合計
		大破	中破	軽微	無被害	
芦屋市	全壊	2,150	624	481	153	3,408
	半壊	186	654	1,861	1,296	3,997
	その他	28	145	896	3,664	4,733
	合計	2,364	1,423	3,238	5,113	12,138

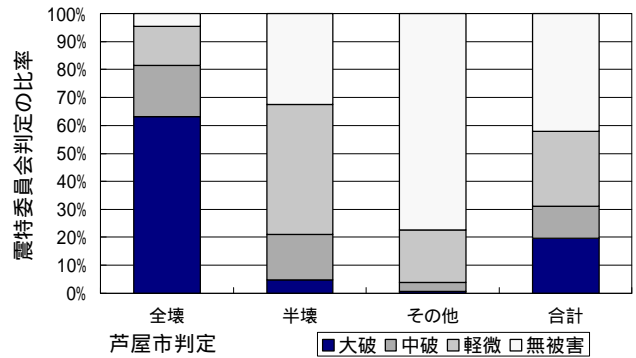


図 3 芦屋市による建物被害判定に占める震特委員会判定の比率

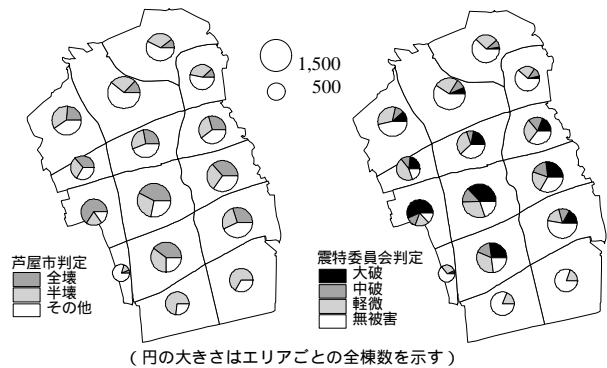


図 4 エリアごとの建物被害判定結果の比較

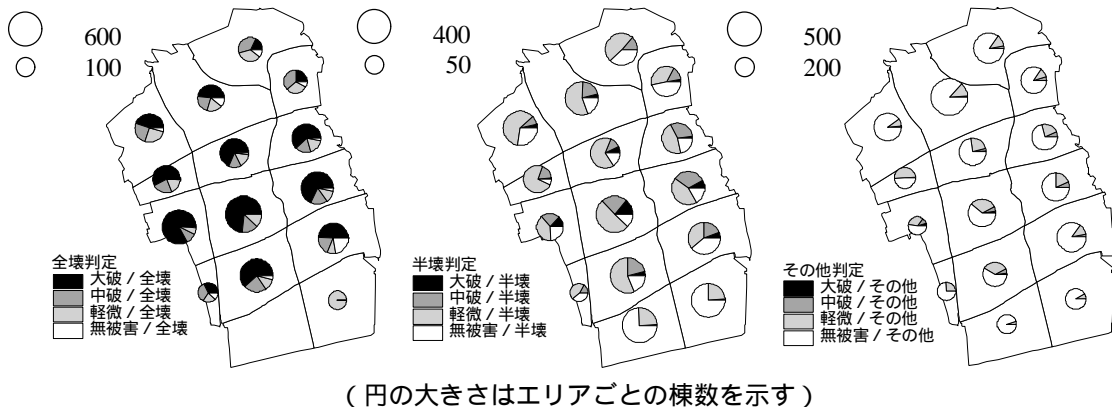


図 5 芦屋市による建物被害判定ごとの震特委員会判定の内訳

のような理由からであろう。

以上のことから、全体としてとらえた場合、芦屋市の全壊判定は震特委員会の中破以上とほぼ等しく、また臨海2エリアを除いたほとんどのエリアで芦屋市の全半壊判定は震特委員会の軽微な損傷以上とほぼ等しいということが言える。

### 3. 建物被害判定ごとの被害率線の比較と評価変換

前章で、芦屋市による判定と震特委員会による判定の対応関係は地震動の強さに関係しているらしいことを述べた。ここでは低層建物の被害と地震動観測値から推定された兵庫県南部地震の地震動分布を用いて、建物被害推定式（フラジリティカーブ）を求め、地震動の最大速度と建物被害判定の関係を調べた。

#### (1) 対応レベルの設定

まず芦屋市と震特委員会判定の対応関係を調べる。前章の結果から「芦屋市の全壊は震特委員会の中破以上と等しい」、「芦屋市の全半壊は震特委員会の軽微な損傷以上と等しい」と仮定し、芦屋市と震特委員会の判定の関係を以下のように4つのレベルに設定した。

Level 1：仮定どおり芦屋市の判定基準の方が緩いもの

Level 2：仮定以上に芦屋市の判定基準の方が緩いもの

Level 3：仮定と逆になっているものでLevel 4以外のもの

Level 4：「全壊と無被害」、「その他と大破」のように正反対の判定が出てしまっているもの

対応レベルの内容とその棟数およびエリアごとの比率を図8に示す。芦屋市の判定基準の方が緩くなっているLevel 1とLevel 2は全体の95.8%と大半を占めている。またLevel 3, Level 4は、それぞれ2.7%, 1.5%と少なかった。Level 3, Level 4のような対応関係は調査項目に室内の被害が含まれるか否かという2調査の差から発生すると考えられる。さらにLevel 4のように正反対の判定が出てしまった理由としては、調査時に使用した地図の違いによる建物の誤認、地図にプロットする際の写し間違いなどから発生する両調査記録の不一致なども考えられる。エリアごとの対応レベルの比率を見ると臨海2エリアで他エリアと違う傾向が見られ、Level 1とLevel 2が半分ずつで、Level 3, Level 4は存在しなかった。その理由として液状化現象による被害、木造比の少なさ等が考えられるが、ここでは判断できない。

#### (2) 建物被害推定式

筆者らの研究グループは、兵庫県南部地震時に得られた強震記録と、震特委員会および兵庫県都市住宅部計画課が行った建築物被災調査結果を建設省建築研究所が数値化したデータ<sup>4)</sup>を用いて、被害推定式を作成し、阪神地域の地震動の空間分布を推定した<sup>14)</sup>。ただし、この検討で用いた建物データは構造種別や建築年代の属性が含まれていないため、木造戸建にほぼ相当すると思われる低層戸建住宅のデータを用いた。本研究では、ここで得られた芦屋市内の推定地震動（町丁目単位の最大速度）を用いて、芦屋市と震特委員会の実施した2調査に基づく全建物に関する建物被害推定式の構築を試みた。ただしこの地震動データは町丁目を単位としているため、全棟数による重み付き平均により対象エリアごとの地震動に換算した。また対象エリアは臨海2エリアを除いた13エリアとしている。

ここで求めた地震動強さ（最大速度）と被害率の関係から、調査ごとの建物被害推定式を求める。算出した推定地震動強さ（最大速度）と建物被害率を表5に示す。ある地震動 $x$ のときに被災ランクR以上の被害が発生する確率 $P_R(x)$ は、標準正規分布の累積確率分布関数 $\Phi(x)$ を用いて、対数正規分布で表せると仮定した。すなわち、

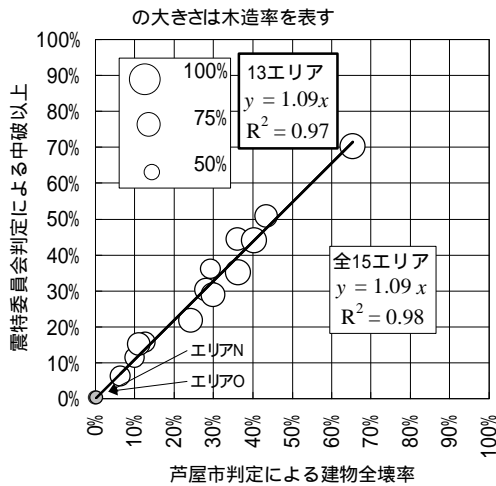


図6 エリアごとの判定比較

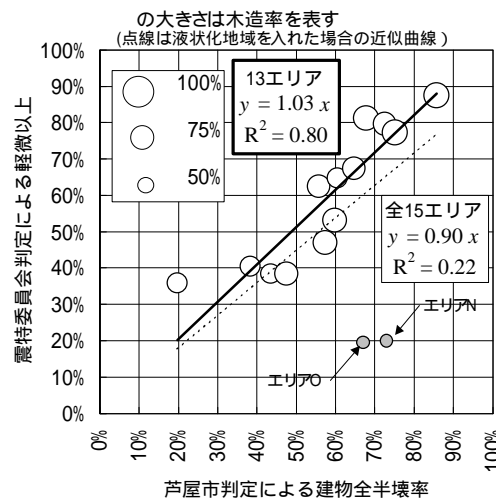


図7 エリアごとの判定比較

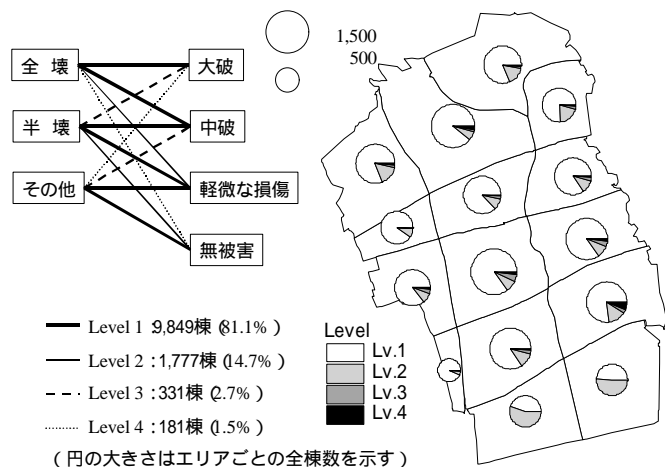


図8 被害判定の対応レベルとエリアごとの比率

$$P_R(PGV) = \Phi((\ln PGV - I)/z) \quad (1)$$

となる。ここで係数 $I$ ,  $z$ は、 $\ln PGV$ の平均値および標準偏差であり、図9、図10に示すような確率紙を用いた最小二乗法により求めた。その結果を表6に示す。また各被害推定式を図11(芦屋市)、図12(震特委員会)に示す。図13は芦屋市と震特委員会のそれぞれの建物被害推定式を重ねて比較したものである。芦屋の判定は曲線を用いて、震特委員会の各判定は領域を用いて表現している。ただし、最大速度は、再現地震動の最大速度値から、50~150cm/s程度までが適用範囲であると考えられる。

表5 建物被害推定式の構築に用いた推定地震動と建物被害率

I/A7	PGV (cm/s)	建物棟数 (棟)	芦屋市調査		震特委員会調査		
			全壊率	全半壊率	大破	中破以上	軽微以上
A	84.2	941	24.2%	59.7%	12.1%	21.8%	53.1%
B	76.2	1,208	12.7%	38.3%	7.2%	15.7%	40.5%
C	63.6	830	10.0%	43.5%	2.0%	11.4%	38.4%
D	66.0	604	11.1%	47.5%	3.5%	15.2%	38.4%
E	95.7	537	36.3%	67.8%	21.8%	35.2%	81.2%
F	99.7	812	28.2%	55.8%	21.8%	30.3%	62.6%
G	100.0	800	29.3%	60.5%	19.1%	36.1%	64.8%
H	177.4	733	65.3%	85.7%	57.3%	70.3%	87.4%
I	122.0	1,401	43.4%	72.4%	36.5%	50.9%	79.7%
J	111.2	1,080	36.1%	64.7%	27.0%	44.4%	67.4%
K	62.7	142	6.3%	19.7%	2.1%	6.3%	35.9%
L	100.1	1,060	40.4%	75.1%	26.7%	44.2%	77.3%
M	97.0	1,014	30.0%	57.3%	16.6%	28.9%	46.9%

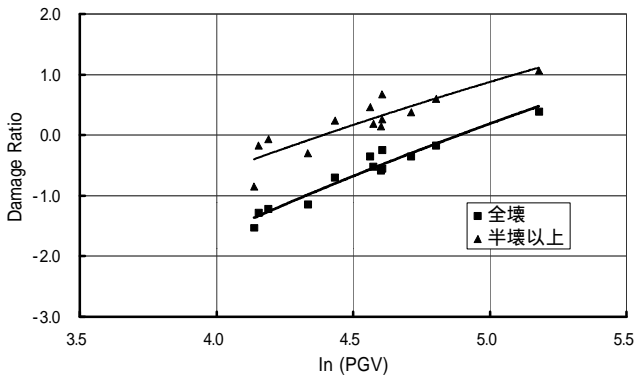


図9 最大速度と芦屋市による建物被害率の確率紙表示

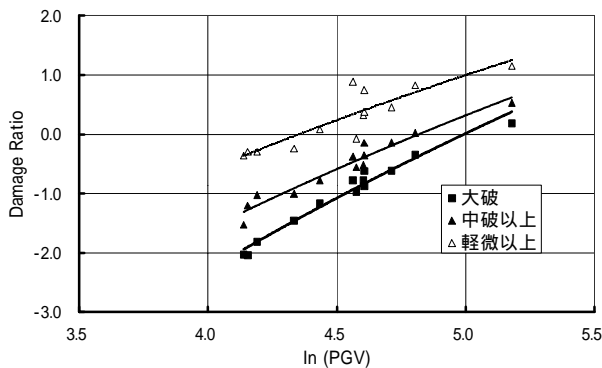


図10 最大速度と震特委員会による建物被害率の確率紙表示

この図から芦屋市判定(全壊, 半壊)と震特委員会判定(大破, 中破, 軽微)の関係を見ると, 大破の発生確率は地震動の大きさに関わらず, 全壊の発生確率より小さくなっている。中破以上の発生

表6 建物被害予測式の係数

芦屋市ランク	$I$	$z$	$R^2$
全壊	4.88	0.559	0.94
半壊以上	4.39	0.680	0.78
震特委員会ランク	$I$	$z$	$R^2$
大破	4.98	0.444	0.96
中破以上	4.83	0.535	0.94
軽微以上	4.34	0.637	0.78

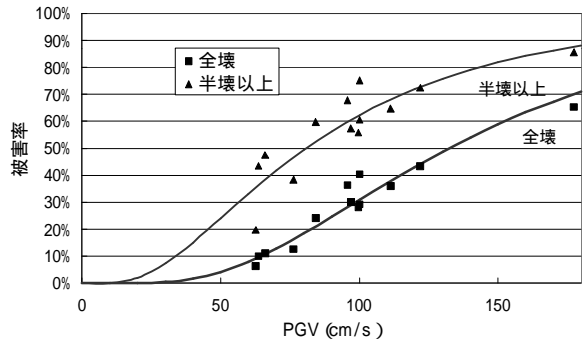


図11 芦屋市データに基づく建物被害推定式

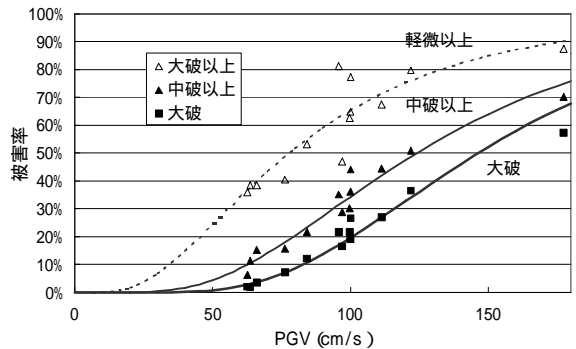


図12 震特委員会データに基づく建物被害推定式

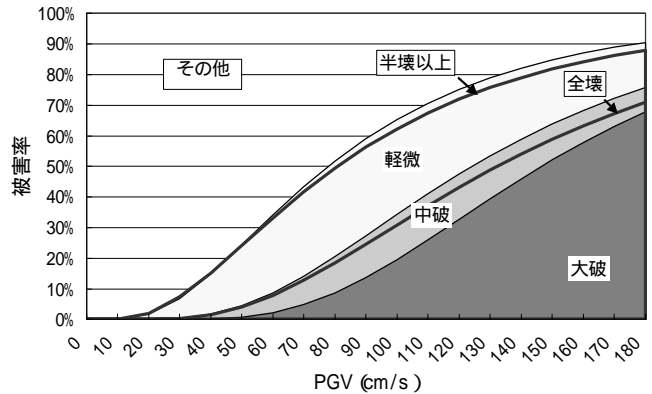


図13 芦屋市と震特委員会の建物被害推定式の比較

確率は約 60cm/s 以下で全壊の発生確率とほぼ等しいが、地震動が大きくなるにしたがい、全壊判定よりも大きな発生確率となっている。また軽微以上の発生確率も 60cm/s 以下で全半壊のものと同程度等しいが、地震動が大きくなるにつれ、全半壊判定よりも大きな発生確率となっている。

(3) 建物被害推定式による比較と評価率

前節では建物被害推定式を構築することにより、芦屋市と震特委員会における各判定ごとの関係を調べた。しかし実際には図 13 のように大破の判定が全て全壊と判定されているわけではない。そこで芦屋市判定のフラジリティカーブを固定して、その内訳を調べた。

ここでは前節と同様に図 14 に示すような確率紙を用いた最小二乗法により求めている。表 7 に判定ごとの  $\ln PGV$  の平均値 ( $l$ ) お

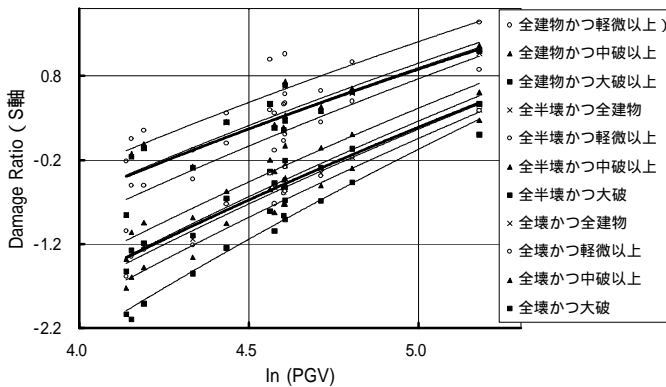


図 14 最大速度と各建物被害率の関係の確率紙表示

表 7 各判定ごとの建物被害予測式の係数

芦屋市ランク	震特委員会ランク	$l$	$z$	$R^2$
全壊	大破	5.05	0.455	0.96
	中破以上	4.95	0.515	0.95
	軽微以上	4.90	0.543	0.93
半壊以上	全建物	4.88	0.559	0.94
	大破	4.84	0.538	0.94
	中破以上	4.76	0.552	0.94
その他以上	軽微以上	4.52	0.606	0.84
	全建物	4.39	0.680	0.78
	大破	4.40	0.671	0.78
	中破以上	4.38	0.654	0.78
	軽微以上	4.17	0.667	0.78
	全建物	-	-	-

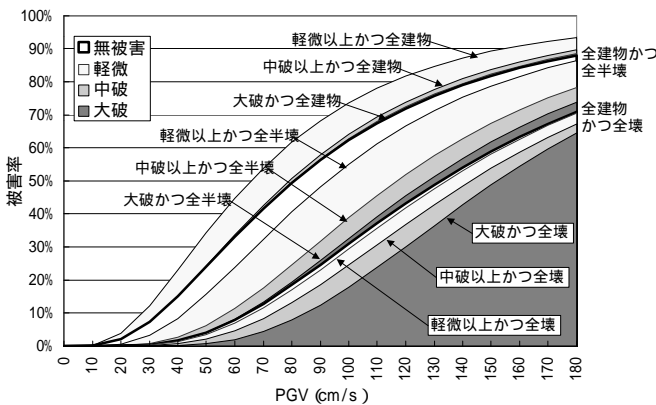


図 15 建物被害推定式における芦屋市判定の内訳

よび標準偏差 ( $z$ ) を示す。図 15 は芦屋市の各判定 (全壊, 半壊, その他) ごとに震特委員会でのように判定されたかの条件付被害率を建物被害推定式で表したものである。図 15 では、半壊以上 (全半壊) と全壊の曲線に挟まれた領域が半壊を表し、半壊以上の曲線よりも上の部分がその他の判定を表している。全壊と判定されたものの大半が大破と判定され、半壊と判定されたものの中では地震動が大きい所ほど大破と判定されたものの比率が大きくなっている。またその他と判定されたものの中では無被害が大きい比率を占めているが、地震動が大きくなるにつれ、中破と判定される比率も大きくなっている。

芦屋市による各判定が、地震動の大きさによって震特委員会に

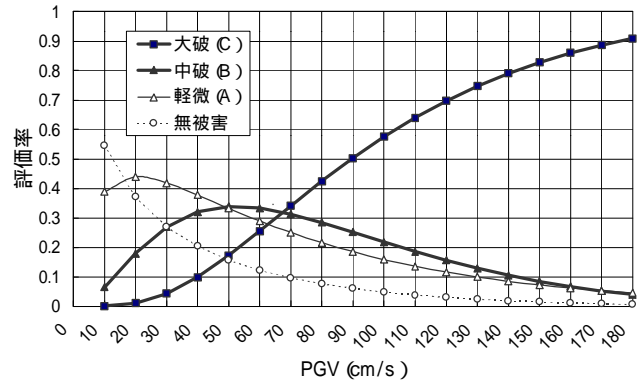


図 16 建物被害判定の評価率 (全壊)

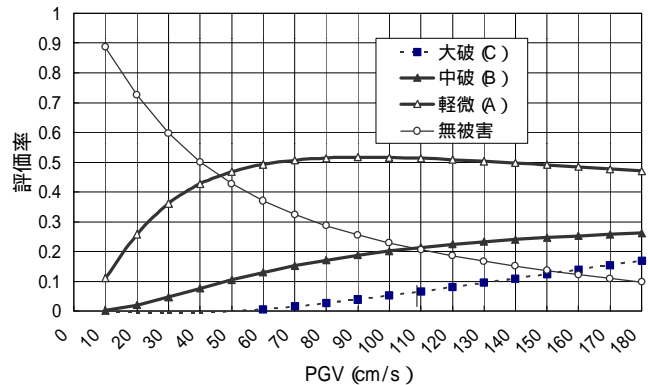


図 17 建物被害判定の評価率 (半壊)

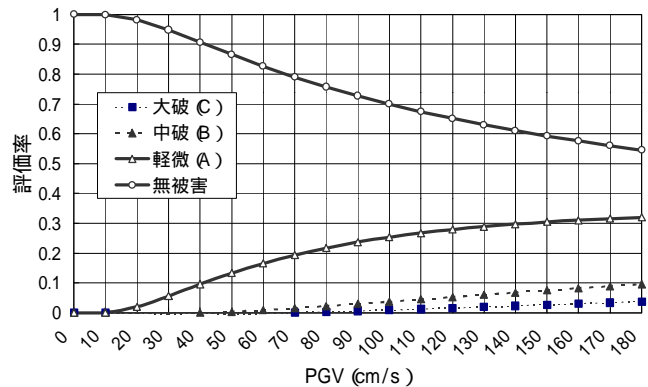


図 18 建物被害判定の評価率 (その他)

のように判定され、どの程度合致したかを評価率という尺度で示したのが、図 16(全壊)、図 17(半壊)、図 18(その他)である。評価率は判定ごとの震特委員会の各被害率を芦屋市による各被害率で除して求めている。また前記した対応レベルに応じて線種を変えており、Level 1 と Level 2 は太線で示している。

全体として見ると、地震動の強さによって各判定のされ方が違っているのがわかる。市によって全壊と判定された建物は地震動の小さいところでは、大破として判定されている率が低いが、地震動が大きくなるにつれて評価率も上がり、0.9 まで上がっている。逆に中破の判定は地震動 50cm/s のあたりで評価率が 0.3 程であり、大破と判定されるものよりも比率が大きいが、70cm/s あたりで逆転され、地震動が大きくなるにしたがい、評価率が下がっている。地震動の小さい地域では一見建物の被害が小さくても、建物内部の被害は大きいということも考えられる。その場合に外観目視による評価を行った震特委員会の判定は中破だが、内部評価を含む市の判定は全壊であるということが起きる。図 16のような現象はこのような理由によると思われる。

次に半壊の判定では、50cm/s 付近から 180cm/s まで軽微の評価率

がほぼ 0.5 と安定している。中破の判定は地震動の増加とともに緩やかに上昇している。また無被害の判定は 40cm/s 付近で中破と同程度の評価率であったが、地震動が大きくなるにつれて 0.1 まで減少している。

その他の判定の中では、無被害の評価率が高いが、地震動が大きくなると 0.5 まで下がり、逆に軽微の判定は地震動の増加とともに評価率は 0.3 程度まで上がっている。その他と判定された中での大破、中破判定の評価率は、地震動が大きくなると多少増加しているが、それでも 0.1 以下と比較的に小さい。

#### (4) 自治体による全壊率からの評価変換

前節では地震動と被害率の関係から芦屋市と震特委員会の建物被害判定を比較した。ただし、ここで用いた地震動分布は震特委員会による低層戸建住宅の被害率と複数地点の地震観測値から導いた推定地震動である。したがって、もともとの地震動そのものが、震特委員会の建物被害率と高い相関関係にあると言える。ここではこれまでの結果から媒介変数である地震動を消去し、自治体全壊率および震特委員会大破率から、他の被害率へと変換する方法を提案する。

図 13に被害推定式の比較を示したように、自治体の全壊率がわか

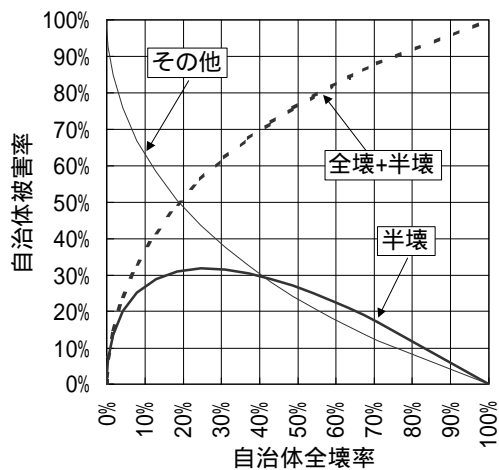


図 19 自治体全壊率から被害率への評価変換

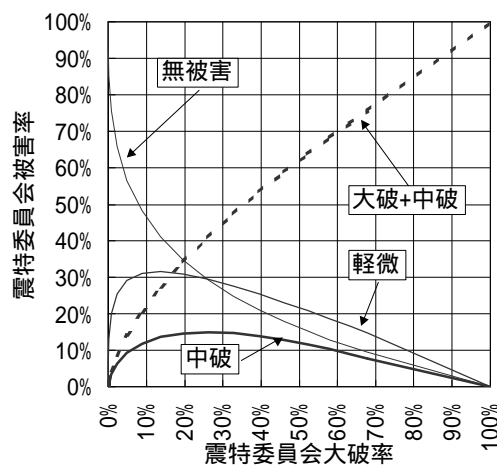


図 21 震特委員会全壊率から被害率への評価変換

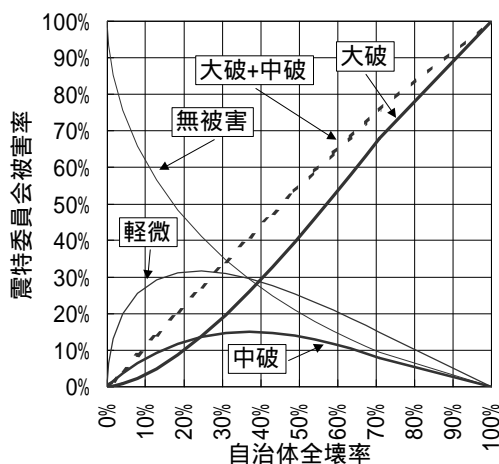


図 20 自治体全壊率から震特委員会被害率への評価変換

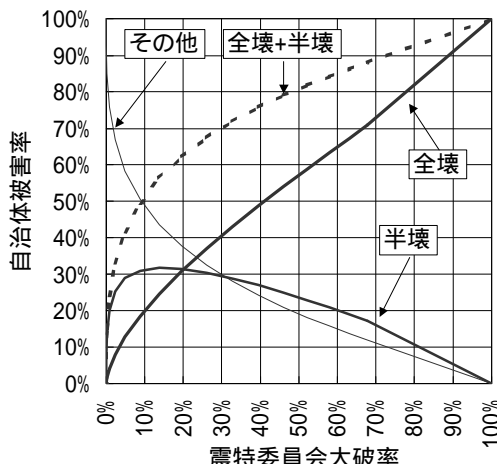


図 22 震特委員会全壊率から自治体被害率への評価変換

れば、地震動がわかり、そこから半壊率、あるいは震特委員会の被害率（大破、中破等）がわかる。図 19 に自治体の全壊率から他の被害率へと変換するグラフを示す。どちらも横軸に自治体の全壊率をとっている。全壊率（地震動）が大きくなるにつれ、被害のない建物すなわちその他の割合は減り続ける。また半壊は全壊率が 20% 位になるまで増加するが、それ以上の被害になると全壊として判定されるため、半壊率は下がっていくのがわかる。全壊+半壊（全半壊率）はその他の判定以外のものであるため、その他を表す曲線と被害率 50% の線を軸とした線対称の関係になっている。

図 20 は自治体の全壊率から震特委員会の被害率を求めるグラフである。大破率は全壊率が大きくなるにつれ直線状に増加している。軽微は全壊率が 20% 程度になるまで急激に増加するが、それ以降は中破へと変わるため減少していく。軽微がピークを過ぎたあたりでそれらの建物は中破へと移行していき、軽微よりも少し高い 40% 付近で中破はピークとなる。また中破以上（大破+中破）は図 6 でも示されたように全壊率とほぼ同じ値をとっている。

図 21 は震特委員会の大破率から震特委員会の他の被害率へと変換できるようにしたグラフである。図 20 と同じような傾向があるが、軽微のピークは 10% あたり、中破のピークは 30% あたりと、自治体の全壊率でみるよりも少し低いところに位置している。図 22 は震特委員会の大破率から自治体の被害率への変換グラフである。図 19 と比べると、その他、半壊、全壊+半壊のどの曲線もやや大破率の低い方向へスライドしたような形になっている。

これらの変換グラフは、今後の大地震時に実施されるであろう自治体による建物被害調査を兵庫県南部地震時の被害と比較する場合、あるいは判定基準の異なった兵庫県南部地震に関する自治体による詳細な建物被害データを分析する場合に、有効に利用できるものと思われる。しかし、残念ながら今回分析したデータは、村上らの研究<sup>15)</sup>のように構造種別、建築年、建築規模等の詳細な建物属性を考慮したものではないため、建物全体としての平均的な関係であることに注意する必要がある。

#### 4. まとめ

兵庫県南部地震で被害を受けた芦屋市の約 12,000 棟の建物を対象として、自治体と震特委員会による建物被害調査の判定結果を比較した。その結果、全体としては芦屋市の全壊判定は震特委員会の中破以上、芦屋市の全半壊判定は震特委員会の軽微な損傷以上にほぼ等しいことがわかった。また判定結果と推定地震動（最大地震速度）との関係を調べた結果、地震動の大きさが 2 調査による被害判定結果の違いに影響を与えていることがわかった。地震動の小さいエリア内、そして強固な建物等は倒壊・全壊することが少ない。しかし家具の転倒等により、内部被害は発生しているということが考えられる。そのような時、建物内部被害の判定項目の有無が、建物被害調査結果の大きな違いとなって現れてくる。地震動の大きさが判定結果の違いに影響を与えているのは、このような理由によるものと考えられる。以上の分析により、自治体による資産的評価を重視した建物被害調査の判定結果を、震特委員会の調査に基づく被害判定へと変換する評価法を提案した。今後、大地震が発生した際に実施されるであろう被災地域の自治体による調査結果を、判定項目内容を考慮したうえで、本評価法により変換することにより、兵庫県南部地震との比較を定量的に行うことが可能になる。

#### 謝辞

本研究においては、震災復興都市づくり特別委員会が実施した建築物被災度調査結果、建設省建築研究所がそれを数値データとしてまとめた結果、芦屋市が調査した建物被害データおよび資料を利用させていただいた。記して謝意を表する次第である。

#### 参考文献

- 1) 村尾修, 山崎文雄: 兵庫県南部地震における建物被害の自治体による調査法の比較検討, 日本建築学会大会計画系論文集, No.515, pp.187 - 194, 1999.1.
- 2) 国土庁: 防災白書平成 9 年版, 1997.
- 3) 震災復興都市づくり特別委員会: 阪神・淡路大震災被害実態緊急調査 被災度別建物分布状況図集, 1995.
- 4) 建設省建築研究所: 平成 7 年兵庫県南部地震被害調査最終報告書, 1996.
- 5) 翠川三郎, 藤本一雄: 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, 第 490 号, pp.111-118, 1996.12.
- 6) 林康裕, 宮腰淳一, 田村和夫, 川瀬博: 1995 年兵庫県南部地震の低層建物被害率に基づく最大地動速度の推定, 日本建築学会構造系論文集, 第 494 号, pp.59-66, 1997.4.
- 7) 芦屋市: 阪神・淡路大震災 芦屋市の記録'95-'96, 1997.
- 8) 後藤寛子, 山崎文雄, 佐藤修: 兵庫県南部地震における芦屋市の建築物被害, 地域安全学会論文報告集, No.6, pp.155-160, 1996.11.
- 9) 杉浦正美, 山崎文雄: 兵庫県南部地震における宝塚市の被害分析, 地域安全学会論文報告集, No.6, pp.147-154, 1996.11.
- 10) 後藤寛子, 山崎文雄, 若松加寿江, 浅野進一郎: 兵庫県南部地震における尼崎市の建物被害分析, 第 24 回地震工学研究発表会講演論文集, pp.1233-1236, 1997.7.
- 11) 杉浦正美, 山崎文雄: 兵庫県南部地震における伊丹市の建物被害分析, 第 24 回地震工学研究発表会講演論文集, pp.1257-1260, 1997.7.
- 12) 山口直也, 山崎文雄, 若松加寿江: 兵庫県南部地震における西宮市の建物被害分析, 第 24 回地震工学研究発表会講演論文集, pp.1237-1240, 1997.7.
- 13) 村尾修, 山崎文雄: 兵庫県南部地震における灘区の建物被害分析, 第 24 回地震工学研究発表会論文集, pp.1261-1264, 1997.7.
- 14) 山口直也, 山崎文雄: 兵庫県南部地震の建物被害による地震動強さの面分布推定, 土木学会第 53 回年次学術講演会講演概要集, (B), pp.560-561, 1998.10.
- 15) 村上雅英, 田原賢, 藤田宣紀, 三澤文子: 阪神・淡路大震災にみる在来木造都市型住宅の問題点, 日本建築学会構造系論文集, 第 481 号, pp.71-80, 1996.3.

#### 注

- 1) 主に保険金支払のための「地震保険損害査定調査」、震災復興都市づくり特別委員会による被災記録のための「被害実態緊急調査」、二次災害防止のための「応急危険度判定調査」、自治体による減免および義援金補助のための「家屋被害調査」などが実施された。
- 2) 芦屋市が実施した建物被害調査では全壊・半壊・一部損壊・その他の 4 区分となっているが、参照した建物被害状況図上では一部損壊・その他の区分がつけられていなかったため、本研究では芦屋市の判定結果を全壊・半壊・その他の 3 区分として分析した。