

# 兵庫県南部地震の宝塚市域データに基づく 建物被害関数の構築

杉浦正美<sup>1</sup>・山崎 文雄<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 アジア航測株式会社 (〒243-0014 神奈川県厚木市旭町 5-42-32)

<sup>2</sup>正会員 工博 東京大学生産技術研究所 (〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)

本研究は、兵庫県南部地震による宝塚市の建物被害データを用いて、多角的観点から被害の特徴を検討し、構造形式や建築年代などの建物特性を考慮した被害関数の構築を行ったものである。具体的には、震災直後に宝塚市が実施した固定資産台帳に基づく建物被害調査の結果を用いて、構造形式・建築年代・地域分布等の観点から被害の特徴を検討した。さらに、県内およびその周辺の強震記録と広域的な建物被害の関係より求められた地震動分布を用いて、宝塚市の建物被害データによる構造形式・建築年代別の建物被害関数を構築した。

**Key Words :** the Hyogoken-Nanbu Earthquake, building damage, Takarazuka, construction period, structured type, fragility curve

## 1. はじめに

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震以降、各種機関より被災状況の地域分布を表わした資料が公表されているが<sup>1),2)</sup>、その多くは被害程度の判断基準が必ずしも明確とは言えない。兵庫県宝塚市は、図-1に示すように本震災の被災中心地の中では最も東方に位置しているが、犠牲者106名を出し、全壊3,800棟、半壊8,881棟(いずれも被災証明発行に基づく数字)の大きな被害を受けた<sup>3)</sup>。筆者らは、震災直後に宝塚市が実施した建物被害の全数調査の結果を用いて、被害データベースを構築した。本研究では、これら被害データと地震動指標との関係を分析して被害関数の構築を試みた。

林ら<sup>4),5),6)</sup>は、地盤モデルのFEM解析による再現地震動と、日本建築学会近畿支部<sup>7)</sup>が実施した神戸市中央区の木造建物の被害調査結果を用いて、最大地動速度と低層家屋被害との関係式を構築した。これをもとにして、震災復興都市づくり特別委員会<sup>8)</sup>などが実施した建物被害調査データを用いて建設省建築研究所<sup>9)</sup>がとりまとめた低層建築物の被害率から、広域の最大地動速度分布を推定している。また筆者らの研究グループ<sup>10)</sup>も、同様の被災データを用いて、建物被害と地震動の強さ(最大加速度

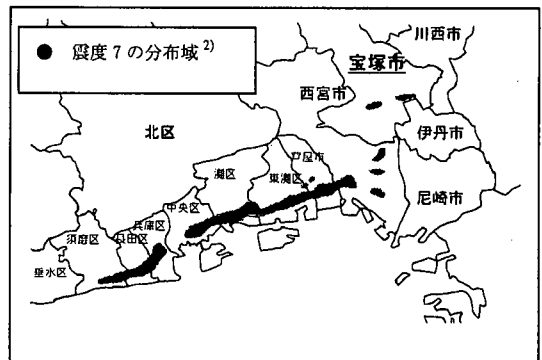


図-1 宝塚市の位置と震度7の領域

PGA, 最大速度 PGV, SI 値, 計測震度 I) の関係を調べ、地震動強さに対する低層建物の被害関数を構築し、低層建物被害率による地震動強さの面的な分布の推定を行い、観測記録との比較検討を行った。さらに中高層建物に関して同様の手法で構築した被害関数を用いて、地震動強さを推定し低層建物による結果と比較検討した。

本研究では、宝塚市で実施された建物被害の全数調査結果をもとに、構造、建築年、地域分布などの観点から建物被害の特徴を考察した。また、上述の研究で得られた地震動の面的分布を宝塚市に適用し、

町丁目単位の地震動指標と、市で調査された被害データとの関係を、構造（木造、鉄筋コンクリート造、鉄骨造）や建築年に着目して分析し、建物被害関数の構築を試みた。

## 2. 宝塚市の建物被害

### (1) 使用したデータ

宝塚市では震災直後より、固定資産税の減免措置の必要性から、(財)地方財務協会「評価ハンドブック」<sup>11)</sup>の「木造家屋総合損耗減点補正率基準表」に準じた基準により、市内各戸の損壊状況を悉皆調査した。この調査は、固定資産台帳に基づくものであり、損壊家屋の所在地、階層、建築年、主体構造、屋根構造、延床面積等を知ることができる。ただし、宝塚市より提供されたデータは、プライバシー保護の観点から所有者および詳細地番を削除したものである。

建築物の被害を分析する際に問題となるのは、小林<sup>12)</sup>が述べているように、母数としての建物棟数全体の把握が難しい点である。データは納税義務者単位のものであり、実際の建物棟数とは一致しない。区分所有である分譲マンションや建売住宅等が多い宝塚市では、この問題は放置できない。筆者らは具体的な分析・検討の前に、構築したデータベースに対し、以下の処理を施した。

- ① 建増し等による付属屋の除外
- ② 分譲集合住宅等の住宅地帯による概略照合
- ③ 延床面積の小さいデータ (<10m<sup>2</sup>) の除外

したがって、集計された建物棟数の絶対値は、宝塚市の公表した値とは異なる。また、損壊率は減免率の根拠となるものであり、市では被災証明の発行基準としている。

ただしこれは、震災復興都市づくり特別委員会<sup>8)</sup>などが実施した建物の外観によってとらえられた修理および再使用可能性に主眼をおいた震災調査に対して、市職員による固定資産税の減免を目的とした主に資産価値に重点をおいた調査であり、被害程度の基準は同一ではない。なお、本研究では被害の比較的軽微な北部の西谷地区は、検討対象から除外した。

以下では、これまで筆者ら<sup>13),14)</sup>が発表した宝塚市の建物被害状況から、その概要について述べる。

### (2) 構造別建築物被害

宝塚市の建物について、構造別に被害状況を検討した。表-1に構造別の被害棟数、図-2に構造別被害率を示す。震災前の建物棟数は、木造系建物が、

表-1 建築物の構造別被害棟数

	全壊	半壊	一部損壊	被害無し	計
木造	5,567	17,365	7,875	2,935	33,742
木質系P	1	133	253	167	554
RC造	83	864	2,084	2,432	5,463
S造	74	669	815	460	2,018
軽量S造	50	145	165	191	551
S-P	6	186	611	355	1,158
軽S-P	33	366	1,012	718	2,129
計	5,814	19,728	12,815	7,258	45,615

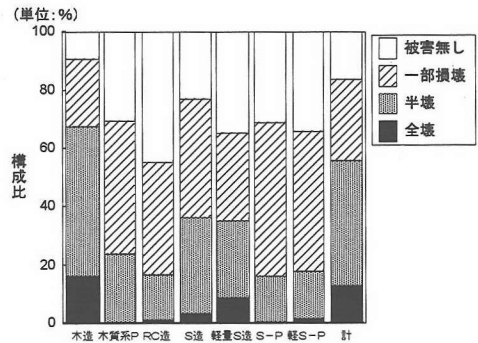


図-2 建築物の構造別被害率

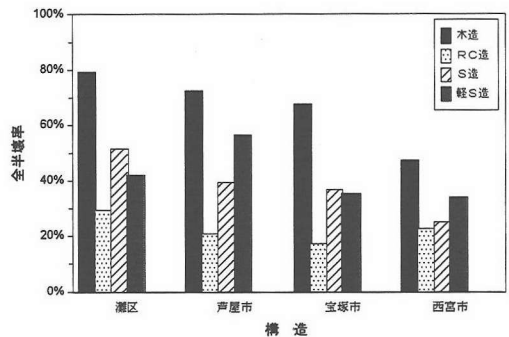


図-3 周辺市の構造別全半壊率

(文献 16), (17), (18), (19), (20)をもとに作成)

全体の約 75%、鉄筋コンクリート(RC)系建物が約 12%、鉄骨(S)系建物が約 13%であった。なお、構造区分は木造、木質系プレハブ(木質系P)、RC造(鉄骨鉄筋コンクリート造を含む)、鉄骨造(S造、鉄骨厚 4mm を越える)、軽量鉄骨造(軽量S造、鉄骨厚 4mm 以下)、鉄骨造プレハブ(S-P、鉄骨厚 3~4mm)、軽量鉄骨造プレハブ(軽量S-P、鉄骨厚 3mm 以下)の7つに区分した。以下に被害率の特徴を示す。

- ① 木質系プレハブの被害は木造に比べ、明らかに少ない。

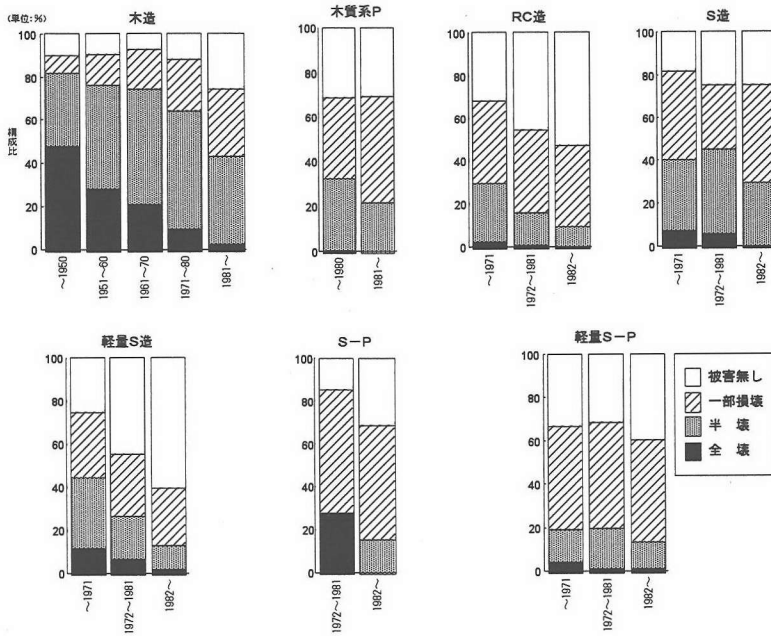


図-5 構造・建築年代別の被害率

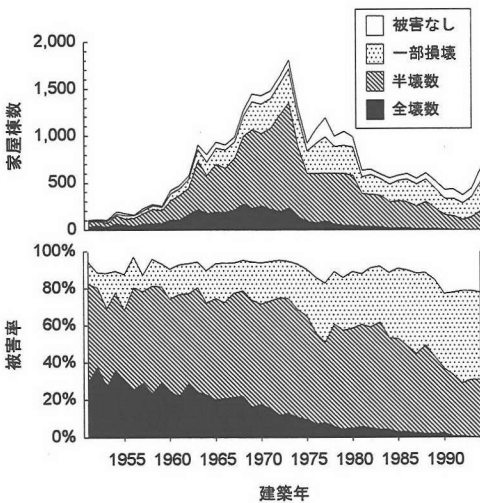


図-4 建築年別の木造建物被害の内訳

② 非木造系では RC 造、S-P、軽量 S-P の全半壊（全半壊は全壊＋半壊，以下同様）率が 20% 前後なのに比べ、S 造、軽量 S 造全半壊率はその約倍の 40% 程度である。

宝塚市と同様に、周辺自治体でも建物被害の調査を実施している。これら調査は、前述した「評価ハンドブック」に基づきながらも、各自治体により調査項目や評価方法に差異があり、必ずしも同一の基準で論じることはできないが<sup>15)</sup>、図-3 に示すよう

に構造種間の被害の大小関係は、概ね同様の傾向を示しており、各自治体内の調査結果の客観性が推測された。

### (3) 構造・建築年代別の建物被害

前述したように、市で調査された被害データは固定資産課税台帳に基づくことから、各建物の建築年を知ることができる。図-4 は建築年別の木造建物の被害内訳を、被害率および被害棟数について示したものである。建築棟数は 1973 年の 1,806 棟をピークにした山型の分布を示しており、半壊以上および一部損壊以上の棟数は、ほぼ同様の分布形を示している。全壊棟数は鋭敏なピークを示さないものの、1960 年代後半から 1970 年代前半に山型を示している。一方、被害率で見ると、全壊建物の比率が明瞭な右下がりの傾向を示しており、明らかに建築年の古い建物ほど被害を受けたことを表している。

次に、構造区分に基づいて、建築年代別に被害程度の変化を検討した。なお、建築年代区分については木造が概ね 10 年ごとの 5 区分、非木造系は耐震基準改正の 1971 年、1981 年を境に区分した。表-2 および図-5 にその結果を示し、以下にその特徴を記す。

- ① いずれの構造でも、建築年代が古いほど被害率が高くなる傾向を示す。
- ② 木造系の建物は、建築年代による無被害率に

表-2 構造別・建築年代別の被害棟数

建築年代	-1950	1951-60	1961-70	1971-80	1981-	
木造	対象棟数	3,233	2,045	9,738	12,453	7,614
	全壊	1,563	580	2,028	1,192	206
	半壊	1,078	1,002	5,310	6,894	3,081
	一部損壊	269	288	1,792	3,059	2,467
	被害無し	296	175	608	1,308	1,860
木質系P	対象棟数	—	—	—	112	442
	全壊	—	—	—	1	—
	半壊	—	—	—	36	97
	一部損壊	—	—	—	40	213
	被害無し	—	—	—	35	132

建築年代	-1971	1972-81	1982-		
RC造	対象棟数	—	1,181	2,152	2,130
	全壊	—	36	34	13
	半壊	—	324	324	216
	一部損壊	—	457	826	801
	被害無し	—	364	968	1,100
S造	対象棟数	—	311	659	1,048
	全壊	—	24	42	8
	半壊	—	102	260	307
	一部損壊	—	130	200	485
	被害無し	—	55	157	248
軽量S造	対象棟数	—	333	124	94
	全壊	—	39	9	2
	半壊	—	109	25	11
	一部損壊	—	104	36	25
	被害無し	—	81	54	56
S-P造	対象棟数	—	—	7	1,151
	全壊	—	—	2	4
	半壊	—	—	—	186
	一部損壊	—	—	4	607
	被害無し	—	—	1	354
軽量S-P	対象棟数	—	190	1,299	640
	全壊	—	8	17	8
	半壊	—	30	251	85
	一部損壊	—	90	624	298
	被害無し	—	62	407	249

大きな変化がないが、非木造系では建築年代が新しいほど無被害率が増加する傾向がある。

- ③ 一部損壊は、木造系で新しいほど比率が高く、逆に非木造系は年代による比率の変化が少ない。

#### (4) 被害の地域分布

木造建物全壊率およびRC造建物全半壊率の地域分布をそれぞれ図-6および図-7に示す。宝塚市における本震災の被害の分布は、南部で南北方向、さらに武庫川(栄町付近)で交差して向きを変え、東西方向に被災の集中地区が認められる。被害の中心である須磨から西宮に至る地域で、被災地域が西南西から東南東方向にほぼ連続している(いわゆる“震災の帯”)のに対して、本市では連続的な傾向を示しながらも、被害の深刻な地域が島状の分布を示すことも性質を異にしている。この被害の特徴は、いずれの構造種でも認められる。

木造建物全壊率の建築年代による地域分布を図-8に示す。建築年が古い建物ほど、全壊率が高い傾向が出ているものの、特に1961年以降に建築された

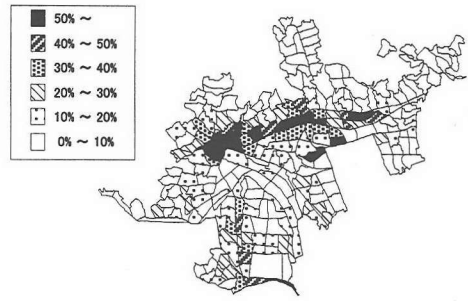


図-6 木造全壊率の地域分布

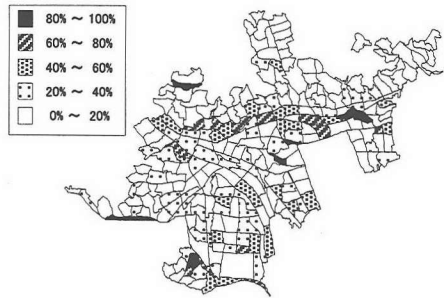
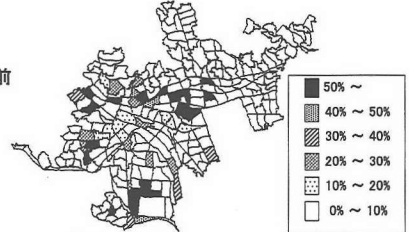
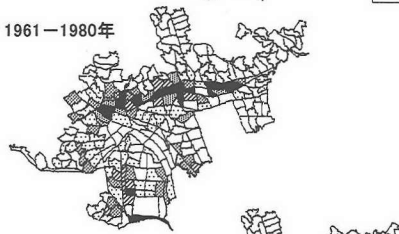


図-7 RC造全半壊率の地域分布

1960年以前



1961-1980年



1981年以降

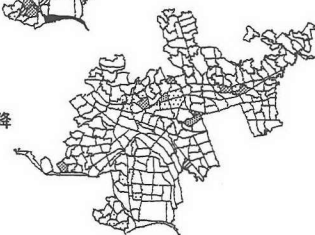


図-8 建築年代による木造全壊率の変化

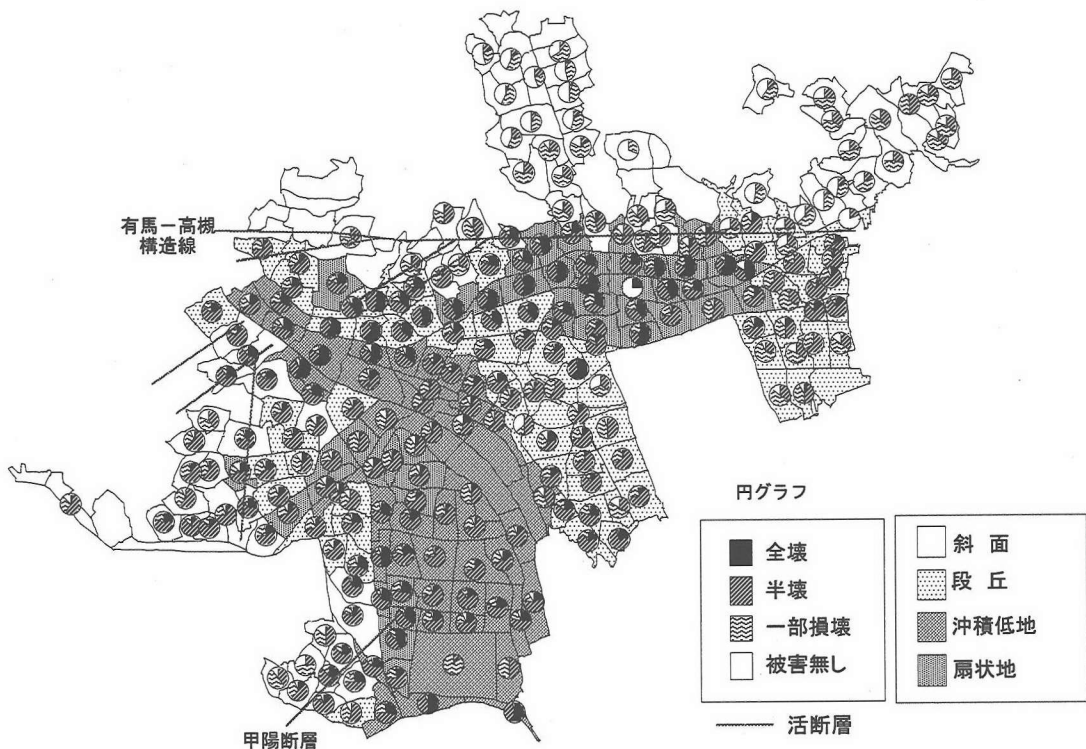


図-9 木造建物被害と地形

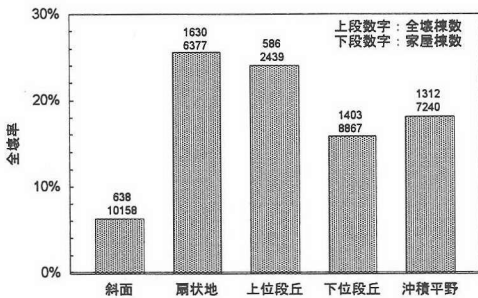


図-10 地形別の被害集計結果

建物では、東西方向の連続した被害地域が認められる。この地域はおもに 1960 年代以降に開発が進められた地域であり、被害の集中原因を木造老朽家屋のみに理由づけることができないことを示唆している。

また、木造建物の損壊比率と地形条件および活断層位置の関係を表したものを図-9 に示す。表層地盤を表す地形条件は、空中写真判読および土地条件図<sup>21)</sup>をもとに、各町丁目毎に卓越する地形面で代表した。全壊率の高い地域は、一部地域を除き、山麓の中小規模の扇状地面に分布する傾向にある。一般に地盤条件が悪い沖積低地は、武庫川の扇頂部

(本地域の北西部)に当たる旧市街地部や、南西端の仁川の河道周辺地域を除くと、全壊率が卓越している地域は少ない。さらに、活断層との関係では、宝塚市を東西に横断する有馬-高槻構造線と前述した全壊率の高い地域が、一定距離を置きながらも平行して分布しているのが特徴的である。また、これらの結果を地形種別でまとめたものを図-10 に示す。これからも明らかのように、相対的に軟弱と考えられる沖積低地や下位段丘よりも、扇状地や上位段丘で全壊率が高いことが分かり、単に表層地盤の良し悪しで被害の大小を論じることはできない。後述するように、震度分布との関係で考察する必要がある。

### 3. 宝塚市の建物被害と被害関数

#### (1) 構造別被害関数

山口・山崎<sup>10)</sup>は、兵庫県南部地震より得られた複数地点の強震記録と、震災復興都市づくり特別委員会<sup>8)</sup>および兵庫県都市住宅部計画課が行った建築物被災度調査結果を建設省建築研究所が数値化したデータ<sup>9)</sup>を用いて、被害関数(フラジリティーカーブ)を作成し、阪神地域の地震動の空間分布を求めた。ただし、この検討で用いたデータは低層・独立

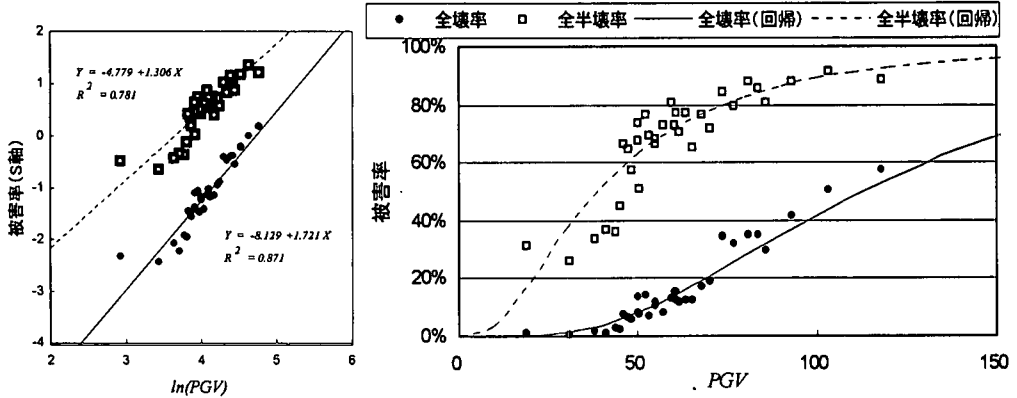


図-11 木造建物の被害関数（最大速度）

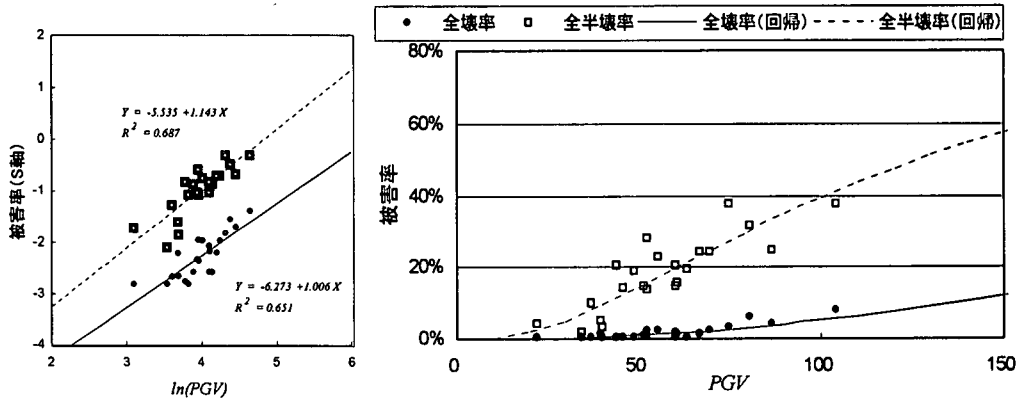


図-12 RC造建物の被害関数（最大速度）

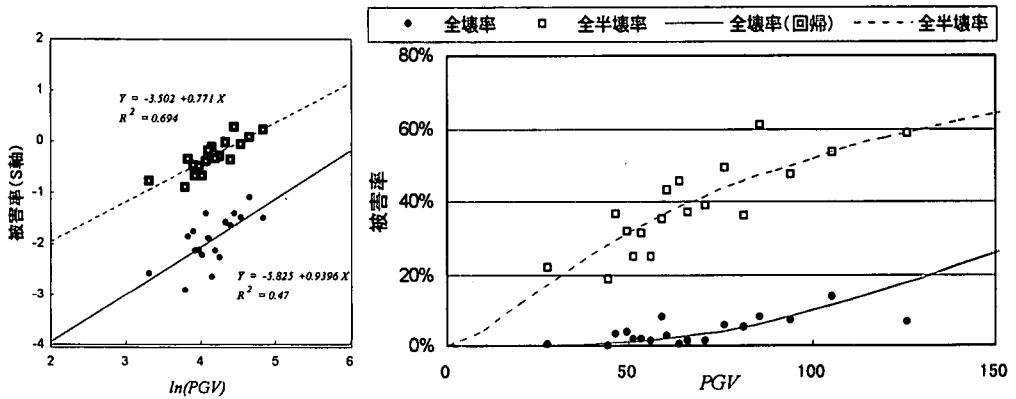


図-13 S造建物の被害関数（最大速度）

住宅（大部分が木造戸建と仮定した）であり、構造種別や建築年代による差異は、データ上不明なため考慮されていない。そこで本研究では、この地震動と宝塚市より得られた建物被害データを用いて、地震動指標による建物被害関数の再構築を試みた。なお筆者ら<sup>22)</sup>は、被害関数の検討について、その一部を既に公にしているが、データ区分の方法などに

ついて、再度検討を加えている。

被害データは町丁目を単位としているが、建物棟数や被害の無い町丁目があるため、地震動指標の大きさと並び替えた上で、十分な対象棟数が得られるよう、被害データの統合を行った。その結果、木造建物で 34、RC 造建物で 22、S 造建物で 18 の単位に区分した。なお統合の際に各地震動値は、建物棟

表-3 木造建物の被害推定式の係数

	全壊			全半壊		
	$\lambda$	$\zeta$	$R^2$	$\lambda$	$\zeta$	$R^2$
PGA	6.929	0.679	0.866	5.691	0.892	0.782
PGV	4.723	0.581	0.871	3.659	0.766	0.781
SI	4.939	0.654	0.871	3.742	0.857	0.790
I	6.551	0.599	0.869	5.456	0.780	0.796

表-4 RC造建物の被害推定式の係数

	全壊			全半壊		
	$\lambda$	$\zeta$	$R^2$	$\lambda$	$\zeta$	$R^2$
PGA	8.713	1.169	0.645	7.070	1.022	0.690
PGV	6.234	0.994	0.651	4.842	0.875	0.687
SI	6.666	1.133	0.649	5.074	0.991	0.693
I	8.179	1.059	0.639	6.684	0.920	0.693

表-5 S造建物の被害推定式の係数

	全壊			全半壊		
	$\lambda$	$\zeta$	$R^2$	$\lambda$	$\zeta$	$R^2$
PGA	8.613	1.221	0.472	6.713	1.494	0.693
PGV	6.199	1.064	0.470	4.543	1.297	0.694
SI	6.540	1.168	0.478	4.726	1.436	0.694
I	8.037	1.083	0.477	6.359	1.344	0.681

数による重みつき平均値を採用した。ある地震動  $x$  のとき被害率  $R$  以上が発生する確率  $P_R(x)$  は、標準正規分布の累積確率  $\Phi(x)$  を用いて、対数正規分布 ( $x$  が計測震度  $I$  の場合は正規分布) で表わせると仮定した。

$$P_R(PGA) = \Phi((\ln(PGA) - \lambda) / \zeta) \quad (1)$$

$$P_R(PGV) = \Phi((\ln(PGV) - \lambda) / \zeta) \quad (2)$$

$$P_R(SI) = \Phi((\ln(SI) - \lambda) / \zeta) \quad (3)$$

$$P_R(I) = \Phi((I - \lambda) / \zeta) \quad (4)$$

ここで、係数  $\lambda, \zeta$  は  $\ln(PGA), \ln(PGV), \ln(SI), I$  の平均値および標準偏差で、確率紙を用いた最小二乗法により求めた。ここでは、構造種別として木造、RC造建物およびS造建物について検討を行っている。検討結果の回帰係数を表-3、表-4 および表-5 に示す。ここで、一部損壊は相関分析の対象から外した。これは、宝塚市の損壊率が百分率で示されており、一部損壊を  $0\% < D < 20\%$  としているため、かなり軽微な被害もこの中に含まれていることが考えられることによる。

全壊被害で見ると、S造 < RC造 < 木造と相関係数が良くなり、一方で全半壊被害では、木造建物の相関が良いのは同様であるが、RC造とS造建物はほぼ近似した相関係数を示している。また、木造建物は、全半壊よりも全壊被害による被害関数の相関係数が高く、RC造およびS造建物の非木造系は、全半壊の被害の方が相関の良い結果となった。ここで木造建物の相関が高いのは、推定地震動がそもそも建築研究所データの木造建物相当(低層・独立住宅)の被害に基づいて推定されており、非木造建物の特性が加味された被害推定式となっていないことが原因であると考えられる。

図-11、図-12 および図-13 に、構造別の最大速度による被害関数曲線を示す。木造建物は、30cm/s 付近で全壊被害が出始め、RC造およびS造建物は50cm/s 付近で全壊被害が始まる。各データの分布と推定された被害関数曲線を見ると、木造では全壊率のデータが広い範囲で曲線に乗っている。一方全半壊では、50cm/s 付近で被害率が分散しており、それ以下の値での推定精度に問題が残る。また非木造系では、S造建物の全半壊データが50cm/s 以下で非常に少なく、推定曲線の精度に問題があることを示唆している。

## (2) 構造・建築年代別の被害関数

次に構造・建築年代別の建物被害関数を検討した。検討対象とした建築年代は、木造建物については1960年以前・1961~1970年・1971~1980年・1981年以降の4区分で、RC造およびS造建物は1971年以前・1972~1981年・1982年以降の3区分で検討した。

被害関数は前項の構造別と同様に算出したが、木造およびRC造建物の全半壊被害の推定で、複数の年代の曲線に交差が生じたことから、実用上の点を踏まえて、傾き ( $1/\zeta$ ) を同一にして各年代の曲線が平行移動するよう操作した。具体的には、前節の構造別被害関数と同様に、地震動指標の大きさを統合した建築年代別被害データをもとに、目的変数を被害率、離散量の説明変数を被害種別、連続量の説明変数を地震動指標(最大速度)として数量化I類による多変量解析を行った。ここで算出された建築年代のカテゴリ数量に定数項を加え、建築年代別の被害関数を作成した。この方法により得られた各建築年代別の被害推定曲線を図-14、図-15 および図-16 に示す。

全体的な傾向は、建築年代の早い建物程、小さい速度で被害が始まり、なおかつ被害率も大きくなる傾向を示している。ただし、S造建物では1971年以前と1972-81年の全半壊による推定曲線が逆転している。

構造別に見ると、木造建物は30~50cm/sで全壊被害が出始め、全半壊は10~20cm/sで被害が始まる。全半壊の被害曲線は、1980年以前の建築ではほぼ近似した傾向を示し、1981年以降の建築建物のみが独立した傾向を示している。また、微少ではあるが1960年以前と1961-70年建築の建物で、順序が逆転している。非木造系のRC造建物では、全壊および全半壊の被害曲線とも、建築年代の早い建物ほど、小さい地震動で被害が生じる傾向を示している。全壊被害は50cm/s 付近で、また全半壊は

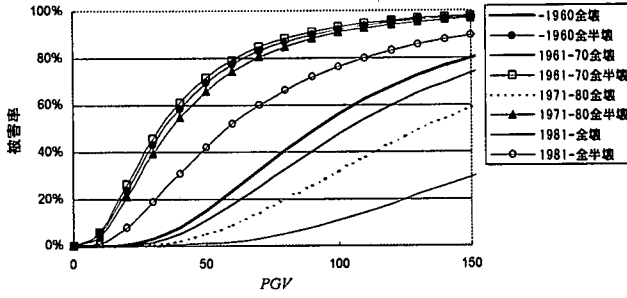


図-14 木造建物の建築年代別被害関数

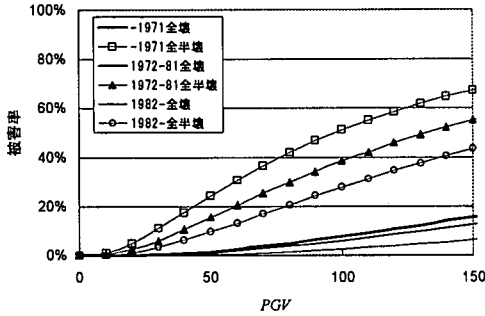


図-15 RC造建物の建築年代別被害関数

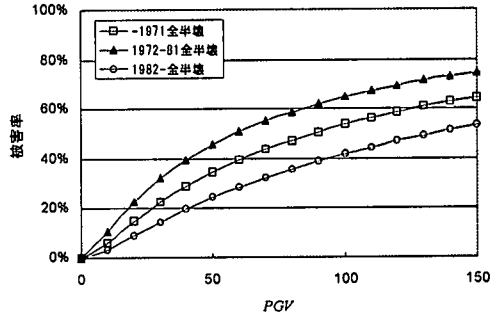


図-16 S造建物の建築年代別被害関数

表-6 構造別建築年代別被害推定式の係数と相関係数の比較

	全壊						全半壊						
	本研究			Miyakoshi et al.			本研究			Miyakoshi et al.			
	$\lambda$	$\zeta$	$R^2$	$\lambda$	$\zeta$	$R^2$	$\lambda$	$\zeta$	$R^2$	$\lambda$	$\zeta$	$R^2$	
	-1950	-	-	4.220	0.558	0.988	-	-	-	3.260	0.945	0.966	
木造	1951-1960	4.531	0.617	0.943	4.380	0.445	0.984	3.341	0.978	0.781	3.770	0.674	0.956
	1961-1970	4.613	0.560	0.906	4.320	0.467	0.980	3.531	0.692	0.752	3.720	0.614	0.931
	1971-1980	4.891	0.597	0.753	4.670	0.462	0.968	3.638	0.706	0.650	4.080	0.551	0.966
	1981-	5.342	0.596	0.749	5.120	0.552	0.933	4.057	0.861	0.921	4.560	0.624	0.903
RC造	-1971	5.283	0.605	0.760	5.160	0.849	0.924	5.022	1.916	0.603	4.580	1.015	0.824
	1972-1981	6.139	0.987	0.644	5.400	0.710	0.960	4.790	0.853	0.789	4.930	1.120	0.956
	1982-	7.289	1.298	0.563	5.580	0.551	0.966	5.082	0.884	0.820	5.360	0.897	0.854
S造	-1971	5.869	1.259	0.532	-	-	-	4.443	1.297	0.670	-	-	-
	1972-1981	*	*	*	4.800	0.644	0.964	4.010	1.556	0.503	4.120	0.916	0.960
	1982-	*	*	*	5.440	0.576	0.897	5.002	1.606	0.420	5.000	0.923	0.783

\* : S造全壊の一部は、データが少なく有意な値が求められなかった。

20cm/s 付近で被害が始まっている。S 造建物は、データ数が少ないために相関の悪い全壊被害の曲線を外し、全半壊によるもののみを示したが、1971 年以前と 1972-81 年建築の建物で、曲線の順序が逆転している。また、被害の立ち上がりも早く、実態と異なっている。これは、50cm/s 以下の被害データが極めて少ないことが原因と考えられる。

### (3) 被害関数の係数の比較

これまで公表された兵庫県南部地震における建物被害の広域的分析研究に関しては、震災復興都市づ

くり特別委員会<sup>8)</sup>などが広域的な被害地域で調査した結果が用いられることが多い。これらは先述したように、外観による被害調査結果であり、個々建物の構造や建築年代を知ることはできない。宮腰・林ら<sup>23)</sup>は神戸市灘区において、筆者らと同様に、固定資産データに基づく全数被害調査の結果を用いて被害関数を提案している。このため、構造・建築年代別に建物被害を分析することが可能であり、構築された被害関数を比較することができる。表-6 では、構造・建築年代別の被害関数の係数と相関係数を比較した。地震動指標の設定法や、自治体による



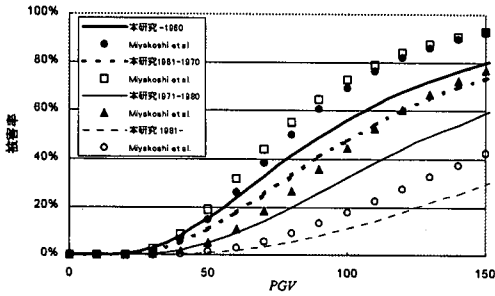


図-17 建築年代別木造建物全壊率の被害関数の比較

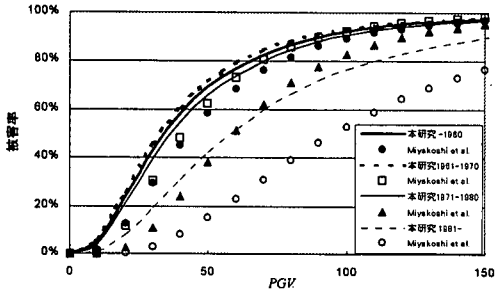


図-18 建築年代別木造建物全半壊率の被害関数の比較

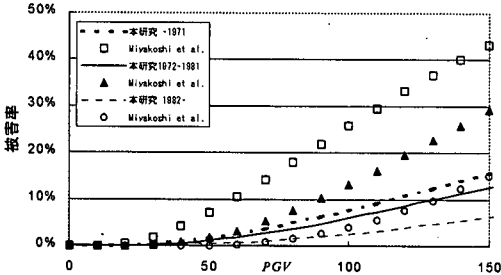


図-19 建築年代別RC造建物全壊率の被害関数の比較

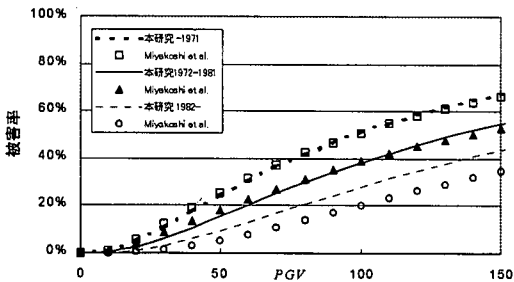


図-20 建築年代別RC造建物全半壊率の被害関数の比較

被害基準が異なる<sup>15)</sup>ために、単純な比較はできないが、相関係数は構造および年代のいずれも、宮腰・林らの結果の方が良好である。これは、灘区と宝塚市では、木造建物の全壊被害棟数で2倍以上の差があり(灘区13,198棟、宝塚市5,567棟)、前者が十分な母数が得られていることが原因と考えられ

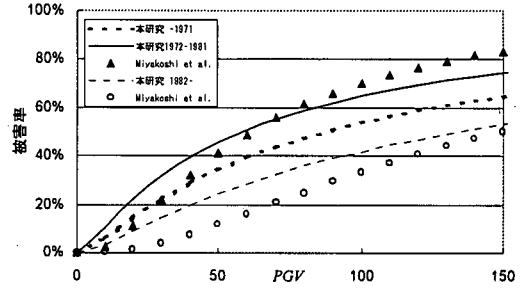


図-21 建築年代別S造建物全半壊率の被害関数の比較

る。また、構造別では、木造建物が両者とも良好な結果を示し、被害程度では全壊被害の方で相関が高い。さらに建築年代に着目すると、木造全壊被害では、建築年が早いほど相関が良い傾向は、両研究とも同様である。非木造系では、両者の差は一層明瞭となる。これは、精度の高い被害関数を求めるためには、広範な地震動レンジと十分な数の被害データが必要とすることを示唆している。

図-17~21には、最大速度による推定被害曲線を構造および被害程度別(木造[全壊・全半壊]、RC造[全壊・全半壊]、S造[全半壊])に比較したものを示す。木造およびRC造建物の全壊被害の推定曲線は、宮腰・林らの結果が、被害率が高く、立ち上がりも早い傾向がある。全半壊被害では、両研究とも比較的近似した傾向を示しているが、木造およびS造建物で、筆者らの結果の方で立ち上がりが早い。

#### 4. まとめ

筆者らのグループは、震災以降各自治体が実施した建築物被害データを収集し、被害特性の整理・分析を行っている。とくに、地震動指標値と建築物被害との関係を比較して、建物被害予測に用いる被害関数の構築を目指している。ここでは、兵庫県南部地震による宝塚市の建物被害データを収集するとともに、周辺地域を含めた観測値より推定した市内の地震動強度を用いて、建築物に対する地震動強度と被害程度との関係を調べ、被害関数の構築を試みた。構造種別(木造、RC造、S造)と建築年代別について被害関数を統計的に求めたところ、比較的良好な結果を得ることができた。しかしS造建物では、十分な被害データが得られないことが原因により、実態に則した被害関数を得られなかった。

今後の実用化に向けては、さらに他の構造種別(階層や屋根構造等)などについても検討を加え、また他の自治体の被害データを用いた分析を重ねることで、被害関数の精度向上を図る必要がある。

兵庫県南部地震から4年以上が経過し、インフラストラクチャーとしての公共施設はほぼ震災前の状態に復興した。一方で市民生活は、バブル経済崩壊後の長期的な不況と相俟って、十分に復興が進んでいないのが現状である。特に住居の建て替えや新築は、多額の経済的負担を要することもあり、伸び悩んでいる状況にある。先の震災では、家屋・家具類等の倒壊による圧迫が原因によると考えられる死者は、全被害死者数の8割以上を占めており<sup>24)</sup>、大部分の人命が建物倒壊により失われている。この教訓を将来に活かす有効な方法の一つとしては、地震動と建物被害の関係を明らかにし、その上で危険性の高い建物については、早急に耐震補強や立て替えの手当を推進する必要がある。

謝辞：宝塚市財務部資産税課をはじめとする関係各位には、貴重な調査結果を提供して頂いたことに感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 国土地理院：平成7年兵庫県南部地震災害現況図(第2版)，1995。
- 2) 気象庁：平成7年(1995年)兵庫県南部地震調査報告－災害時自然現象報告書－，気象庁技術報告，第119号，1997。
- 3) 宝塚市：宝塚市震災復興計画，1995。
- 4) 林康裕，宮腰淳一，田村和夫，渡辺宏一：兵庫県南部地震の建物被害に基づく地震動強さの評価，第1回都市直下地震災害総合シンポジウム論文集，pp.89-92，1996。
- 5) 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報告集，第494号，pp.59-66，1997。
- 6) 林康裕，宮腰淳一，田村和夫：1995年兵庫県南部地震の建物被害に基づく最大地動速度分布に関する考察，日本建築学会構造系論文報告集，第502号，pp.61-68，1997。
- 7) 日本建築学会近畿支部：1995年兵庫県南部地震－木造建物の被害－，pp.193，1995。
- 8) 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。
- 9) 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。
- 10) 山口直也，山崎文雄：兵庫県南部地震の建物被害率による地震動分布の推定，土木学会論文集，No.612/I-46，pp.325-336，1999。
- 11) 自治省固定資産税課・資産評価室編：評価ハンドブック 平成9年度固定資産税評価基準，地方財務協会，1997。
- 12) 小林英之：都市災害史のなかの阪神・淡路大震災，建築雑誌，111巻1382号，pp.47-51，1996。
- 13) 杉浦正美，山崎文雄：兵庫県南部地震の被害分析－その2 宝塚市の建築物被害－，生産研究，第48巻，第11号，pp.27-30，1996。
- 14) 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.149-154，1996。
- 15) 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，日本建築学会計画系論文集，第515号，pp.187-194，1999。
- 16) 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。
- 17) 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。
- 18) 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築物被害分析，第24回地震工学研究発表会論文集，pp.1237-1240，1997。
- 19) 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論文集，pp.1233-1236，1997。
- 20) 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論文集，pp.1257-1260，1997。
- 21) 国土地理院：1/25000 土地条件図「大阪西北部」，1983。
- 22) 杉浦正美，山崎文雄：兵庫県南部地震の宝塚市域被害データに基づく建物被害推定式，第10回日本地震工学シンポジウム論文集，pp.3385-3390，1998。
- 23) Miyakoshi, J., Hayashi, Y., Tamura, K. and Fukuwa, N.: Damage Ratio Functions of Buildings Using Damage Data of the 1995 Hyogo-Ken Nanbu Earthquake, Proceedings of the 7th International Conference on Structural Safety and Reliability (ICOSSAR), 1998。
- 24) 国土庁：防災白書(平成7年版)，pp.11，1995。

(1999.3.2 受付)

# FRAGILITY CURVES FOR BUILDINGS BASED ON DAMAGE DATA IN TAKARAZUKA DUE TO THE 1995 HYOGOKEN-NANBU EARTHQUAKE

Masami SUGIURA and Fumio YAMAZAKI

After the 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake, local governments and academic societies conducted a number of building damage surveys. The results of these surveys contain highly valuable information on structural performance and ground motion distribution. Using the inventory and damage data of buildings in Takarazuka City, the authors propose fragility curves for buildings, in which the structural type and construction period are considered. The fragility curves thus obtained may be useful for damage assessments and early damage estimation systems in Japan.