

西宮市の建物被害調査データに基づく 被害関数の構築

山口 直也¹・山崎 文雄²

¹学生会員 工修 東京大学大学院工学系研究科 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

²正会員 工博 東京大学生産技術研究所 (〒106-8558 東京都港区六本木7-22-1)

兵庫県南部地震では、建物や地震動に関してこれまでにない豊富な情報が得られた。これまでの建物被害関数は、過去の地震被害データに基づくもので精度の向上が必要であり、兵庫県南部地震の建物被害データを取り入れることで、より精度の高い建物被害関数が構築できると考えられる。また、建物被害関数を構築するには地震動の面的な分布の推定が必要であり、筆者らはこれまでに、強震観測記録と低層建物の被害率から阪神地域の推定地震動分布を求めている。そこで本研究では、その推定地震動分布を、西宮市が行った建物被害調査結果を用いて西宮市に関して再推定した結果の地震動分布と、西宮市の建物被害調査結果より、建築年代や構造などの建物特性を考慮した建物被害関数の構築を行った。

Key Words: the 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake, Nishinomiya City, building damage, fragility curve, construction period, structural type

1. はじめに

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震は、阪神・淡路地域に過去に経験したことがないほどの被害をもたらした。地震による構造物被害を評価していくためには、被災地域での地震動の強さの面的な分布を推定することが重要である。この地震ではさまざまな機関により多数の強震記録が得られているが、これらの計器観測の結果のみからその地域の地震動分布を求めるのに十分なほどの数は得られていない。兵庫県南部地震の被災地域における地震動強さ分布の推定に関しては、これまでに、墓石の転倒率¹⁾や建築物の被害率^{2),3)}などからの推定が行われている。筆者らも、強震観測記録⁴⁾とその周辺の低層独立住宅被害データ⁵⁾とを用いて、阪神地域の地震動分布を推定した⁶⁾。

しかし地震動分布推定の際に用いた建物被害調査データには建物の構造や建築年代などの情報が含まれていないために、推定した地震動分布にはこれらの地域分布の影響が含まれていると考えられる。また、建物数不足のために地震動が推定されていない地域も存在する。そのため、詳細な建物被害関数の構築の際には、他の建物被害調査データを用いて地震動分布の再推定をすることが

必要である。筆者らは、西宮市が行った建物被災度調査データをもとに木造建物の建築年代ごとの被害関数を構築し、その被害関数を用いて西宮市における地震動分布を再推定することで、地域によって建築年代ごとの建物分布が異なることの影響を地震動分布から取り除け、建物数不足のために推定できなかった地域の地震動も推定することが出来た⁷⁾。そこで本研究では、この再推定地震動分布と西宮市の建物被災度調査データを用いて、建物特性を考慮した建物被害関数の構築を行った。

2. 使用したデータ

本研究で用いている西宮市の被災度調査データは、西宮市税務部情報システム課から提供されたものであり、市が固定資産台帳に基づいて行った調査結果である。これには、建物の構造形式や建築年、被害状況等の情報が含まれている。被災度判定は、減免率によって全壊(10割減免)・半壊(5割減免)の2種類であり、一部損壊と被害なしの判定を行っていない。この調査データによる西宮市の構造別の被害棟数を表-1に示す。これを見ると、木造建物が他の構造に比べて圧倒的に数が多いことがわかる。この被災度調査データと、図-1に示す西宮市の推

表-1 建物の構造別被害棟数

構造	建築年代	全壊	半壊	その他	計
木造	-1951	7,669	2,348	3,999	14,016
	1952-61	3,972	2,158	3,455	9,585
	1962-71	6,549	3,891	5,883	16,323
	1972-81	3,835	4,097	8,064	15,996
	1982-94	807	1,872	9,393	12,072
	計	22,832	14,366	30,794	67,992
木質系プレハブ造		87	161	1,323	1,571
RC造	-1971	302	436	2,462	3,200
	1972-81	274	430	2,709	3,413
	1982-94	96	293	3,996	4,385
	計	672	1,159	9,167	10,998
鉄骨造		387	759	4,165	5,311
軽量鉄骨プレハブ造		165	338	3,978	4,481
鉄骨RC造		9	45	1,335	1,389
軽量鉄骨造		284	236	1,320	1,840
レンガ造		16	2	10	28
コンクリートブロック造		337	296	1,648	2,281
鉄筋プレハブ造		18	19	333	370
全建物		24,807	17,381	54,073	96,261

表-2 各構造ごとの被害データの区分数と区分棟数

構造			区分数	区分棟数
木造	全体		30	2,250
	年代別	-1951	30	460
		1952-61	30	310
		1962-71	30	540
		1972-81	30	530
		1982-94	30	390
木質系プレハブ			10	150
RC造	全体		20	530
	年代別	-1971	20	155
		1972-81	20	165
		1982-94	20	200
		鉄骨造		
軽量鉄骨プレハブ造			10	400

定地震動分布（最大速度）を用いて建物被害関数の構築を行う。

3. 西宮市の被害調査データに基づく建物被害関数

(1) 構造別被害関数

地震動強さと被害調査データからの建物被害率の関係から、建物被害関数を構築するわけであるが、被害調査データは町丁目単位であるため、建物棟数が不充分であったり、被害の少ない町丁目があるなど、町丁目によってその棟数にばらつきがある。そこで、地震動指標の大きさと並び替えた上で、十分な棟数が得られるよう、棟数に応じて被害データを統合し、被害関数の構築を行った。各被害関数ごとの区分数、区分ごとの棟数は、表-2に示すとおりである。なお、被害データを統合した際には、棟数による重みつき平均により区分ごとの地震動値

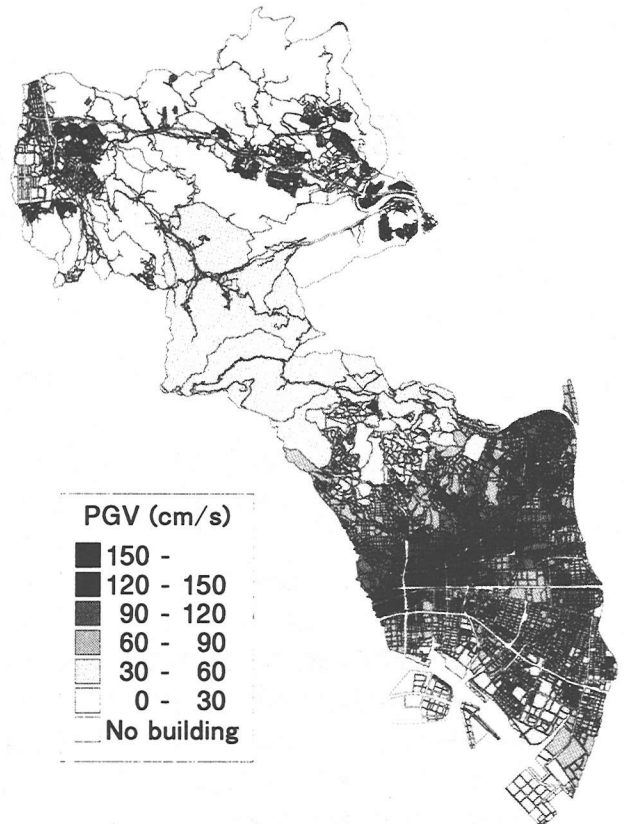


図-1 被害関数構築に用いた西宮市の推定地震動分布（最大速度）

表-3 建物被害関数の回帰係数

		全壊			全半壊		
		λ	ζ	r	λ	ζ	r
木造	全体	4.60	0.535	0.992	4.22	0.537	0.994
	-1951	4.27	0.501	0.988	3.91	0.591	0.978
	1952-61	4.48	0.513	0.977	4.09	0.541	0.972
	1962-71	4.52	0.493	0.985	4.12	0.489	0.983
	1972-81	4.75	0.480	0.973	4.30	0.446	0.978
	1982-94	5.32	0.599	0.923	4.76	0.629	0.983
木質系プレハブ		5.74	0.891	0.938	5.00	0.737	0.985
RC造	全体	5.71	0.849	0.931	5.11	0.798	0.942
	-1971	5.47	0.796	0.936	4.98	0.831	0.921
	1972-81	5.63	0.874	0.898	5.06	0.884	0.888
	1982-94	7.89	1.73	0.589	5.73	1.04	0.797
鉄骨造		5.60	0.824	0.980	4.97	0.784	0.969
軽量鉄骨プレハブ造		6.23	1.05	0.932	5.20	0.747	0.951

を求めている。

ここで、ある地震動 x のときに被害率 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、

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

となる。ここで λ 、 ζ は、 $\ln x$ の平均値および標準偏差であり、最小二乗法により導いた。その結果得られた回帰係数を表-3に示す。また、図-2に木造、木質系プレハブ造、鉄筋コンクリート造、鉄骨造、軽量鉄骨プレハブ造の各構造に対する被害関数を、全壊率・全半壊率にわけて示す。全壊率・全半壊率のどちらにおいても、木造建物に対する曲線の立ち上がりが高く、被害率は地震動

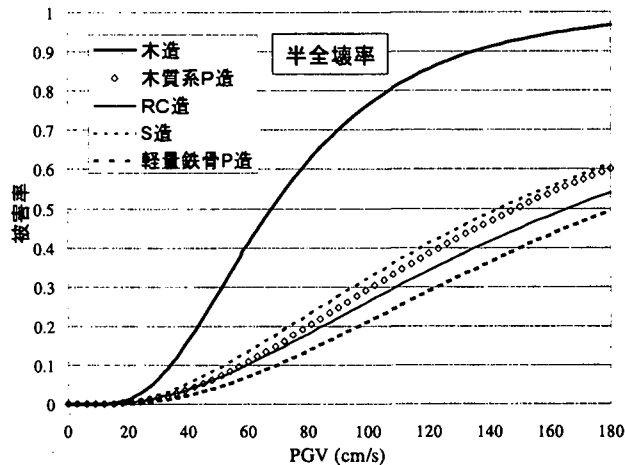
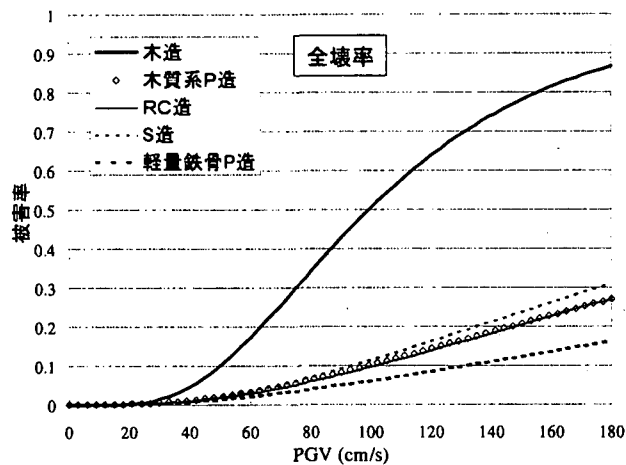


図-2 構造別建物被害関数

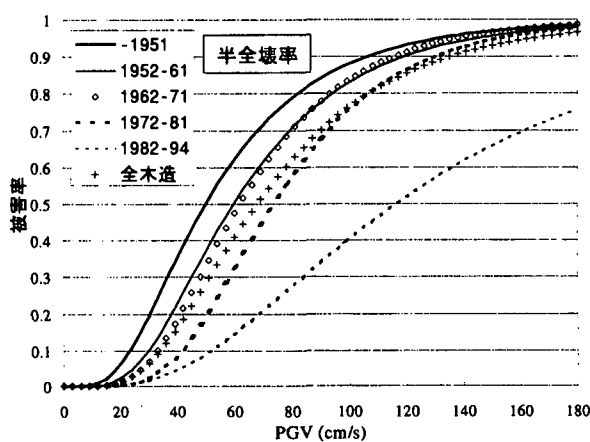
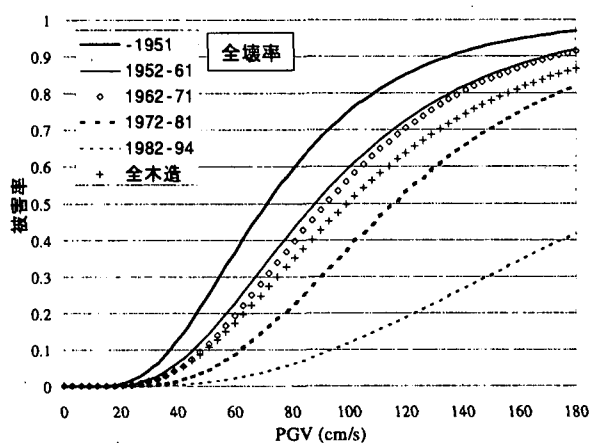


図-3 木造建物の建築年代別被害関数

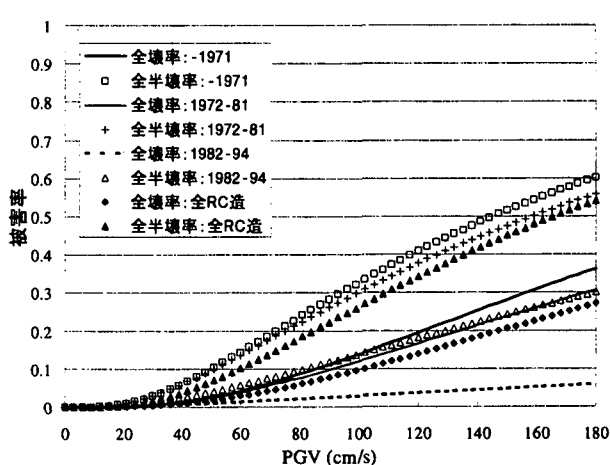


図-4 RC 造建物の建築年代別被害関数

の範囲によらず大きくなっている。その他の構造については、大きな差は見られないが、同じプレハブ造でも木質系の方が被害が大きくなっている。これらの傾向は、実際の被害の傾向と一致している⁸⁾。

(2) 建築年代別被害関数

木造建物と鉄筋コンクリート造建物について、建築年代別の建物被害関数の構築を行った。建築年代区分は、

鉄筋コンクリート造建物については耐震基準改正による影響を考慮し、1971年と1981年を境に10年ごとに3区分、木造建物についても比較検討のために同様の区分(5区分)である。被害関数の構築方法は構造別の被害関数と同じであり、回帰係数は表-3に示してある。図-3に木造建物についての、図-4に鉄筋コンクリート造建物についての建築年代別の被害関数を示す。木造、鉄筋コンクリート造ともに、建築年代の早い建物ほど小さい地震動で被害が発生し始め、被害率は地震動の範囲によらず大きい。木造建物に関してしてみると、特に全半壊率の被害関数の方で1952-61年と1962-71年の曲線がほぼ重なってしまい大きな差が見られないが、実際の被害でもこの2つの年代に大きな差が見られず⁸⁾、それをよく反映しているものと考えられる。鉄筋コンクリート造建物について見てみると、全壊率・全半壊率の両方において、1971年以前と1972-81年の曲線に大きな差が見られないが、1982年以降のものを見ると被害率が大きく下がっている。これは、1981年の耐震基準改正が大きな効果を出しているためと考えられ、被害分析でも同様の傾向が確

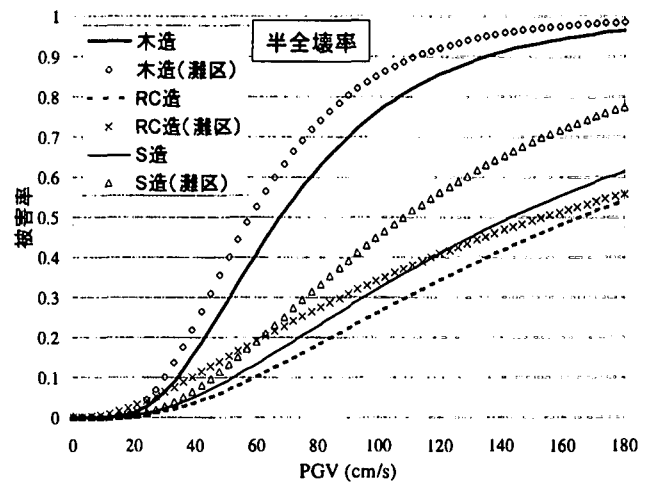
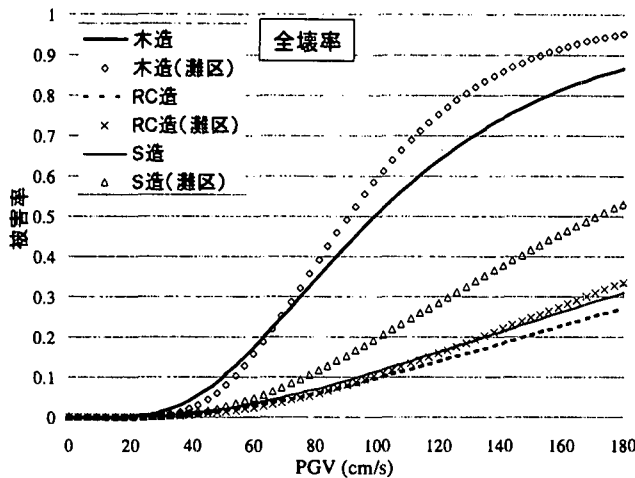


図-5 他の被害関数との比較

認されている⁸⁾。

木造、鉄筋コンクリート造それぞれについて、それぞれの構造の全建物の被害関数と建築年代ごとのものとを比較してみると、それぞれの構造の全建物の被害関数は建築年代が古いものと似ており、古い年代の建物の方が被害が大きくなっていることを考慮すると、構造別の被害関数は古い年代の建物被害の影響を受けているのではないかと考えられる。

(3) 他の被害関数との比較

自治体の被災度調査データを用いた同様の研究は、他にも行われているが、ここでは本研究の結果と村尾・山崎⁹⁾が灘区について行ったものとの比較を行う。比較したのは構造別の被害関数で、木造、鉄筋コンクリート造、鉄骨造であり、図-5にその結果を示す。これを見とどの構造に関する被害関数も村尾・山崎の方が被害が大きい傾向を示している。村尾・山崎の研究で用いている地震動分布は本研究と同じ方法で推定されたものである¹⁰⁾ので、両者の被害関数の違いは、用いている建物被害データの違いや、被災度調査データごとの被災度判定の基準が異なる¹⁰⁾ことによる違いが影響しているのではないかとと思われる。

4. まとめ

本研究では、被害関数の精度を向上させるためには、兵庫県南部地震の豊富で質のよいデータを盛り込むことが重要であると考え、西宮市が行った固定資産税の減免のための被災度調査データを用いて、建物特性を考慮した建物被害関数の構築を行った。

建物被害関数は、構造種別・建築年代別に構築したが、木造建物の被害率が他のどの構造よりも大きくなっている、同じプレハブ造でも木質系の方が被害が大きい、建

築年代が古い建物ほど被害が大きくなっているなど、それぞれの被害関数が実際の被害状況をよく反映したものであることを確認した。

今回構築した被害関数は、実際の地震被害に基づく経験的な関数であるので、あらゆる条件を含んだ汎用性に富むものではないが、これまでの被害関数に比べると精度の面での向上は図れたものと考えられるので、この被害関数を用いることにより、被害推定や危険度判定の精度の向上にもつながるものと思われる。また、より汎用性の富む被害関数を構築するには、数値解析による方法が必要となってくるものと考えている。

参考文献

- 1) 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報告集, 第490号, pp.111-118, 1996.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 日本建築学会近畿支部耐震構造研究部会: 1995年兵庫県南部地震強震記録資料集, 1996.
- 5) 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.
- 6) 山口直也, 山崎文雄: 1995年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.
- 7) 山口直也, 山崎文雄: 自治体の被災度調査結果を用いた西宮市の地震動分布の再推定, 第54回土木学会年次学術講演会, 1999.
- 8) 山口直也, 山崎文雄: 兵庫県南部地震の被害分析—その4 西宮市における建築物被害のマクロ分析—, 生産研究 49巻7号, pp.28-31, 1997.
- 9) 村尾修, 山崎文雄: 兵庫県南部地震の実被害データに基づく灘区地震動分布と建物被害関数, 第25回地震工学研究発表会講演論文集, 1999.
- 10) 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.