

兵庫県南部地震の実被害データに基づく 灘区の地震動分布と建物被害関数

村尾 修¹・山崎文雄²

¹ 工修 東京大学生産技術研究所助手 (〒106-8558 東京都港区六本木 7-22-1)

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

兵庫県南部地震についての強震記録は、地域の地震動分布を求めるに充分なほどは得られていない。本研究では、神戸市の建物被害調査に基づくデータを用いて暫定的な建物被害関数を構築し、構造・建築年代を考慮した地震動の再推定を行った。その結果、建築年代ごとの建物分布の影響による推定誤差を減らすことができ、精度の高い地震動を推定することができた。またこの地震動分布を用いて、構造別・建築年代別の建物被害関数を構築した。これを用いて灘区全体における建物被害棟数を推定した結果、実被害との誤差は平均で±1%であった。以上の結果から、本研究によって構築された建物被害関数は、兵庫県南部地震の建物被害の状況をかなりの高精度で再現するものであり、今後の被害推定等に役立つものと思われる。

Key Words: the 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake, building damage, strong ground motion, Nada Ward, fragility curve

1. 研究の目的

地震による構造物被害を評価するためには、被災地域での地震動強さの面的分布を推定することが重要であるが、兵庫県南部地震についての強震記録は、これのみからその地域の地震動分布を求めるに充分なほどは得られていない。兵庫県南部地震の被災地域における地震動分布推定に関しては、これまでに、翠川・藤本¹⁾や林ら²⁾が、墓石の転倒率や地盤モデルのFEM解析等を用いて行っている。

筆者らの研究グループは、これまでに兵庫県南部地震による建物被害データを各自治体から収集し、分析³⁾を行ってきた。本研究では、神戸市によって実施された灘区の建物被害データから灘区の詳細な地震動分布を推定し、建物被害関数を構築し、さらにその結果を実被害と比較している。

図-1に建物被害関数を構築するまでのフローチャートを示す。まず強震観測記録とその周辺地域の低層独立住宅被害データ⁴⁾を用いて低層独立住宅の被害関数(I)を求め、その関数を同データのもととなった調査地域に適用し、阪神地域の地震動分布の推定(I)(図-2)を行う。ここまでは山口・山崎⁵⁾によりまとめられている。その後、地震動分布(I)と、神戸市により実施された調査に基づく建物被害データを用いて、構造・建築年代を考慮した建物被害関数(II)を求めた⁶⁾。その結果得られた木造建築年代別の建物被害関数を図-3に示す。本研究(図-1中、陰影をつけて示した部分)では、被害関数(II)

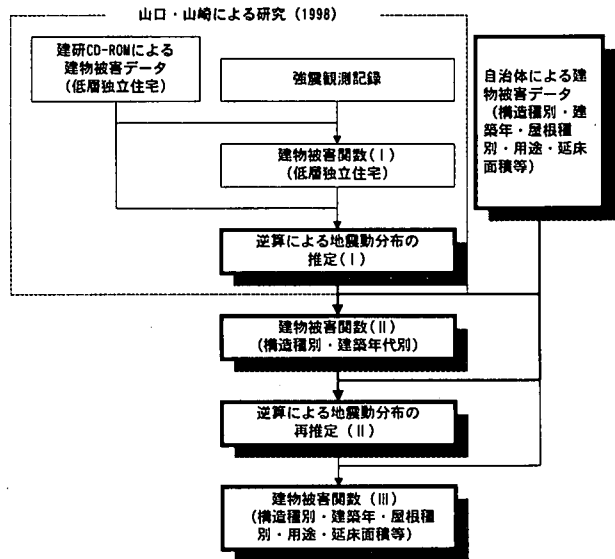


図-1 建物被害関数構築までのフローチャート

と神戸市から提供された灘区の建物被害データを用いて、地震動分布の再推定を行う。さらにこの推定地震動(II)と詳細な属性を含む自治体データとともに用いることにより、詳細な建物被害関数(III)を構築する。

2. 灘区における地震動分布の再推定

(1) 地震動分布再推定の方法

本研究では、図-3の建物被害関数を用いて、灘区

の地震動分布を以下のような方法で推定した。

まず対象地域内の 346 町丁目について、それぞれの建築年代（5 区分）ごとの被害関数（全壊率と全半壊率）から地震動を推定する。次に各年代ごとに、建物の全棟数が 15 未満の町丁目については、微地形を考慮したうえで、15 棟以上となるように周辺の町丁目と統合する。さらに全壊率と全半壊率がともに 0%または 100%となる地域は、地震動が 0 または著しく高い数値となってしまったため、同様の方法で統合する。こうして得られた 10 通りの地震動（5 建築年代ごとの全壊率、全半壊率）を比較検討し、最終的な地震動を決定する。

(2)地震動推定値の比較

(1)の結果、各建築年代ごとに全壊率と全半壊率の被害関数による 2 つの地震動が推定された。図-4 に各建築年代ごとの全壊率と全半壊率により推定された最大速度（PGV）の比較を示す。建物棟数は新しくなるほど減少している³⁾ため、1972-81 と 1982-94 の相関が比較的低くなっている。全壊率と全半壊率の傾きに関しては、最も相関の低い 1982-94 以外はどれも 0.9 から 1.0 の間にあり、全体的には全壊率と全半壊率による推定値はほぼ等しいと言えよう。

次に、各建築年代ごとの地震動推定値を全壊率と全半壊率による推定値の平均から求め、相関係数、建物棟数の点から最も平均的な指標と思われる 1962-71 を基準として、他の建築年代および全木造による推定値と 346 町丁目について比較した。その結果、建築年代による推定値の差はそれほど異なっ

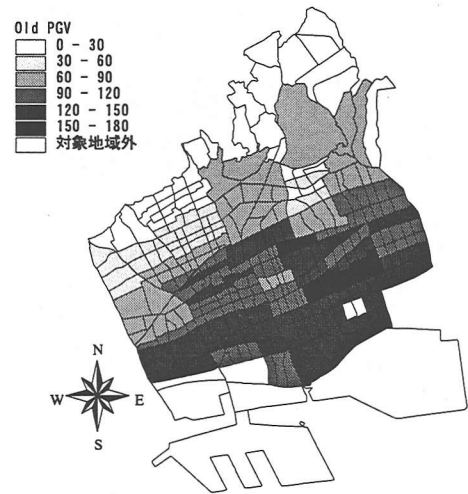


図-2 山口・山崎による灘区の推定地震動分布

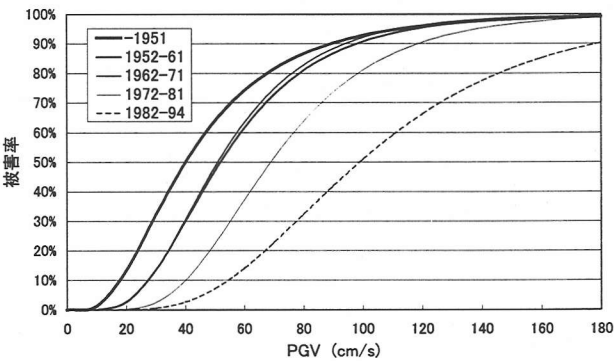


図-3 木造建築年代別被害関数（全半壊率）

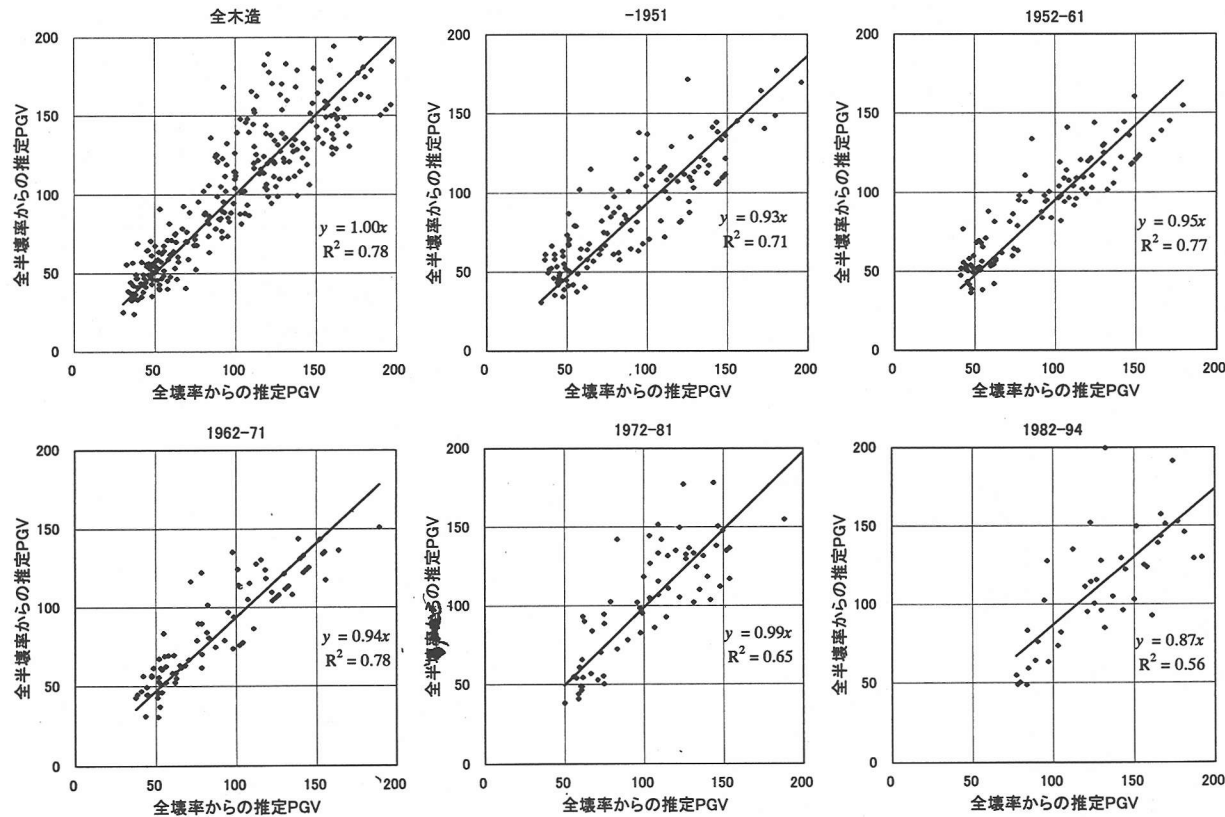


図-4 各建築年代ごとの全壊率と全半壊率により推定された最大速度値の比較（単位：cm/s）

ていないことがわかった。

(3) 灘区における地震動の再推定

(2)で求めた各年代により推定された地震動値の最大差を町丁目ごとに調べたところ、346 町丁目の平均は 46 cm/s で、最も大きかったのは約 130cm/s であった。このような各年代ごとの被害関数による推定値の差を補正するために、各年代ごとの推定値の平均をとり、地震動分布を決定した (図-5)。

この結果と山口・山崎により推定された灘区の推定地震動分布 (図-2) を町丁目ごとに比較したものを図-6 に示す。ばらつきがあるが、全体的には傾きが 1.06 であり、大まかな分布傾向は近似している。また再推定した地震動分布をもとに、次節で構築した木造建築年別の建物被害関数を用いて、地震動の再々推定を行い、再推定値と比較した (図-7)。図-6 に比べ、ばらつきがほとんどなくなり、本研究により地震動推定値が収束していることがわかる。

3. 灘区の建物被害関数

(1) 建物被害関数構築の方法と回帰係数

ここでは 2 で再推定した地震動分布を用いて、自治体調査に基づく建物被害関数を求める。

ここで用いた建物被害データは町丁目を単位としているが、建物被害関数を構築するうえで、建物棟数が不十分であったり、被害の少ない町丁目が存在するため、地震動指標の大きさで並び替えた上で、十分な棟数が得られるよう、棟数に応じて被害データの統合を行った。また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を求めている。

ここで求めた地震動強さと被害率の関係から、建物被害推定式を求める。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、

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

となる。ここで係数 λ , ξ は、 $\ln x$ の平均値および標準偏差であり、確率紙を用いた最小二乗法により求めた。その結果得られた回帰係数を表-1 に示す。相関係数を構造別にみると、S 造が全壊、全半壊ともに 0.7 前後とやや低い、それ以外の構造については全て 0.9 以上と高い相関を示している。各構造ごとの建築年代別の係数をみると、木造が 1982-94 (全壊) を除く全てにおいて 1.0 に近く、相関が高い。その他の構造についても一部 0.7 程度のものがあるがほとんどは 0.9 以上であり、建築年代別についても高い相関を示していると言えよう。

図-8 に RC 造の被害関数を示す。全壊率について見ると、1971 年以前のものは 40 cm/s あたりから被害が発生し、1982-94 のものは 80 cm/s 位まで被害が

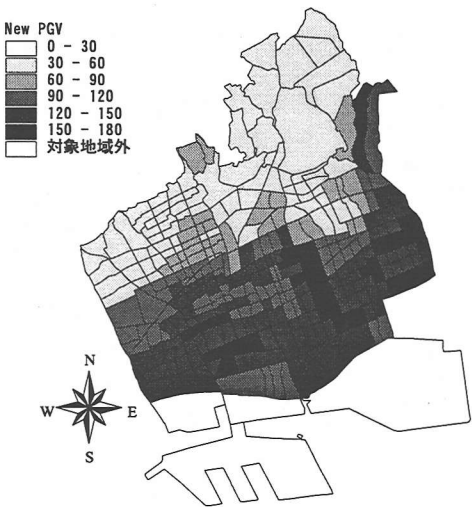


図-5 灘区における推定地震動と対象地域

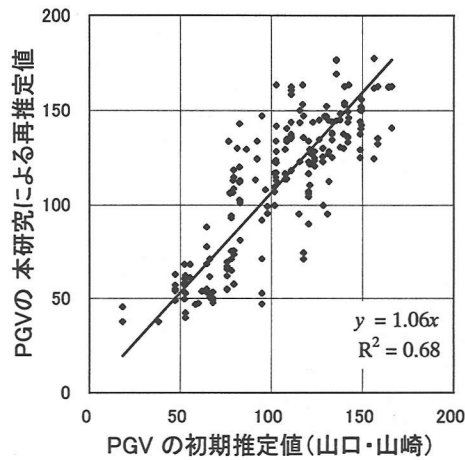


図-6 再推定値と初期推定値との比較 (単位: cm/s)

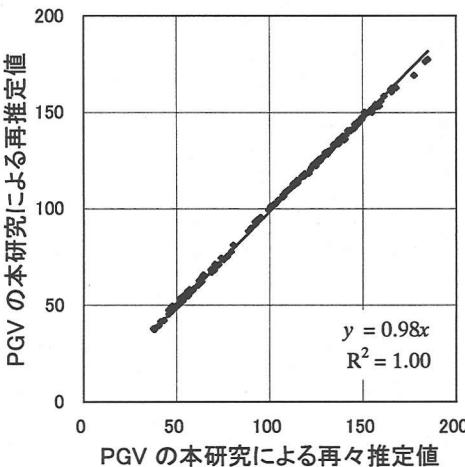


図-7 再推定値と再々推定値との比較 (単位: cm/s)
出ないのがわかる。180 cm/s での 1971 年以前 (耐震基準改正以前) の RC 造建物全壊率は 50% 強であり、これは 1982-94 の木造建築物の全壊率よりも小さく、RC 造が被害を受けにくいことがわかる。

他の構造についても、RC 造と同様にいずれも古い建物ほど小さな PGV で被害を受けている。

表-1 建物被害関数の回帰係数

		全壊			全半壊		
		λ	ζ	R^2	λ	ζ	R^2
木造	-1951	4.36	0.411	0.957	3.66	0.674	0.980
	1952-61	4.44	0.353	0.976	3.97	0.490	0.952
	1962-71	4.45	0.342	0.977	4.02	0.456	0.966
	1972-81	4.73	0.378	0.974	4.25	0.395	0.976
	1982-1994	5.12	0.496	0.881	4.61	0.474	0.969
	全年代	4.51	0.410	0.983	4.07	0.514	0.983
RC造	-1971	5.12	0.646	0.954	4.72	0.691	0.929
	1972-81	5.33	0.575	0.941	4.85	0.612	0.844
	1982-94	6.00	0.789	0.902	5.33	0.789	0.917
	全年代	5.50	0.705	0.968	4.99	0.716	0.924
S造	-1971	4.64	0.819	0.718	4.25	0.712	0.788
	1972-81	4.97	0.490	0.941	4.49	0.549	0.797
	1982-94	5.64	0.731	0.893	5.01	0.733	0.824
	全年代	5.14	0.628	0.752	4.69	0.672	0.686
軽量S造	-1971	4.70	0.550	0.928	4.41	0.504	0.913
	1972-81	5.82	0.972	0.728	4.85	0.855	0.783
	1982-94	6.19	1.101	0.858	5.28	0.865	0.849
	全年代	5.03	0.564	0.944	4.73	0.601	0.970

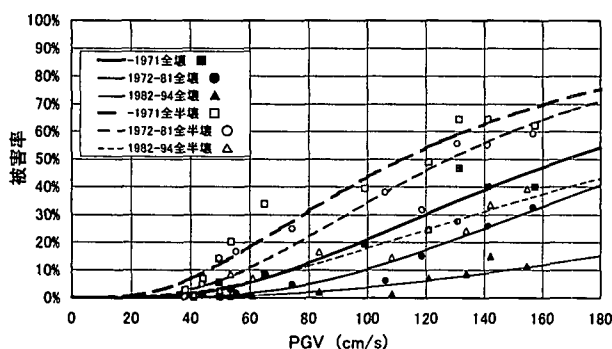


図-8 RC 造の建築年代別被害関数

表-2 灘区における推定建物被害棟数と
実被害との比較

構造別の建物被害関数(Ⅲ)を用いた場合

構造	全壊棟数		全半壊棟数	
	推定値(Ⅲ)	実被害	推定値(Ⅲ)	実被害
木造	11,868	11,901	16,625	16,693
RC造	367	373	914	921
S造	506	520	935	940
軽量S造	258	263	423	425

建築年代別の建物被害関数(Ⅲ)を用いた場合

構造	建築年	全壊棟数		全半壊棟数	
		推定値(Ⅲ)	実被害	推定値(Ⅲ)	実被害
木造	-1951	4,988	5,029	6,520	6,659
	1952-61	2,921	2,897	3,869	3,831
	1962-71	2,627	2,585	3,578	3,510
	1972-81	1,021	1,006	1,771	1,767
	1982-94	390	384	962	926
	合計	11,947	11,901	16,700	16,693
RC造	-1971	170	169	316	320
	1972-81	137	137	351	359
	1982-94	61	67	240	242
	合計	368	373	907	921
S造	-1971	232	231	300	298
	1972-81	183	182	344	335
	1982-94	104	107	307	307
	合計	519	520	951	940
軽量S造	-1971	212	214	287	291
	1972-81	23	25	70	62
	1982-94	27	24	76	72
	合計	262	263	433	425

(2) 建物被害推定棟数と実被害との比較

ここでは、(1)によって得られた建物被害関数(Ⅲ)を用いて、灘区全体(対象地域内)の建物被害棟数を求め、実被害と比較する。表-2に建物被害棟数の推定値と実被害との比較を示す。上段の表は

構造別の被害関数を用いた場合、下段は建築年代別の被害関数を用いた場合であり、合計という欄は各年代ごとの被害関数による推定値を合計したものである。どの項目も推定値と実被害がよく近似していることがわかる。実被害に対する推定値の平均比率(構造・建築年代別18種の平均)は、全壊率で99.6%、全半壊率で100.9%とかなり高い精度であった。

4. まとめ

本研究では、木造の建築年代別被害関数を用いて、灘区における地震動分布を再推定した。木造建物の建築年代ごとの被害関数から推定された地震動を比較検討することにより、建築年代ごとの棟数分布が地域によって異なることの影響を取り除くことができ、町丁目ごとの基礎地盤も考慮した精度の高い地震動を推定することができた。

この地震動分布を用いて、構造別および建築年代別の建物被害関数を構築した。建築年代別の建物被害関数では、どの構造についても古い建物ほど小さい地震動で被害率が上がり始め、またそれぞれの地震動においても新しい建物より高い被害率を示した。その建物被害関数を用いて灘区全体における建物被害棟数を推定した結果、その誤差は平均で±1%程度であった。

以上のことから構築された建物被害関数は、今後の被害想定等に役立つものと思われる。

本研究においては、神戸市が調査した被害データを利用させていただいた。謝意を表する次第である。

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, 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集, 第494号, 59-66, 1997.
- 3) 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, 1261-1264, 1997.
- 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) 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, 325-336, 1999.
- 6) Murao, O., and Yamazaki, F.: Development of Fragility Curves for Buildings Based on Damage Data due to the Hyogoken-Nanbu Earthquake, Proceedings of the Asian-Pacific Symposium on Structural Reliability and its Applications, Taipei, Taiwan, 1999.