

詳細な建物情報を含む被災度調査結果に基づく 西宮市の地震動分布の再推定

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)

兵庫県南部地震の被災地域における建物被害を評価するためには、地震動分布を推定することが必要であり、筆者らはこれまでに、強震記録と建物被害データを用いて、阪神地域の地震動分布を推定してきた。しかし、その際用いた建物被害データには建物の建築年代の情報がないために、推定された地震動分布には建築年代ごとの建物存在率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。そこで本研究では、詳細な建物被害関数の構築に用いる地震動分布を得るために、西宮市が行った建物被災度調査結果を用いて、西宮市に関して地震動分布の再推定を行った。その結果、建築年代の影響を受けない、精度の高い地震動分布を推定することが出来た。

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

1. はじめに

兵庫県南部地震では多数の構造物が被害を受けたが、これらの被害を評価するためには、その地域の地震動分布を求めることが必要である。しかし、観測記録の数は充分とはいえないため、他の情報からの地震動分布の推定が必要となる。これまでに、墓石の転倒率からの推定¹⁾、再現地震動と低層建物の被害率の関係からの推定^{2),3)}、さらに複数の情報を組み合わせた推定⁴⁾などが行われている。

筆者らもこれまでに、兵庫県南部地震の強震観測記録⁵⁾とその観測点周辺における建設省建築研究所によってまとめられた低層独立住宅被害データ⁶⁾を用いて、阪神地域の地震動分布を推定した⁷⁾。今後、この推定地震動分布をもとに詳細な建物被害関数を構築していく予定である。しかし、地震動分布推定の際に用いた建物被害調査結果には建物の構造形式や建築年代などの情報が含まれていないために、推定地震動分布にはとくに建築年代による建物存在率の違いによる影響が含まれていると考えられる。また、推定に用いた低層独立住宅の棟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を構築する際には、被害

関数構築のときに使用することの出来る建物棟数を増やす目的で、地震動分布の推定されている地域を広げて、また用いる推定地震動分布の精度を高くするために、他の建物被害調査結果を用いて地震動分布を再推定することが必要と思われる。

建物被害調査は、兵庫県南部地震直後からそれぞれ異なる目的でいくつかの機関によって行われた⁸⁾。その中で、建物の構造形式や建築年代などの情報を含んでいるものとして、地方自治体が課税台帳に基づいて行った被災度調査があげられる。そこで本研究では、西宮市によって実施された建物被災度調査の結果を用いることとし、まずその結果を用いて、建物構造や建築年代についてなど、西宮市の建物被害の特徴を考察した。その結果、木造建物は棟数が多く、また全般的な被害状況をよく表していること、そして建築年代が建物の被害状況に違いをもたらしていることを明らかにすることが出来た。そこで文献⁷⁾による西宮市の推定地震動と詳細な情報を含む木造建物の被害データから、西宮市に関する木造建物の建築年代ごとの仮の被害関数を求め、それらの関数を再度西宮市に適用することにより、西宮市に関する地震動分布の再推定を行った。

表-1 西宮市における建物の構造・年代別の被害棟数

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P造	-1981	55	84	412	551
	1982-94	32	77	911	1,020
	計	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
S造	-1971	121	156	586	863
	1972-81	140	258	1,215	1,613
	1982-94	126	345	2,364	2,835
	計	387	759	4,165	5,311
鉄骨RC造		9	45	1,335	1,389
軽量S造		284	236	1,320	1,840
レンガ造		16	2	10	28
CB造		337	296	1,648	2,281
鉄筋P造		18	19	333	370
軽量鉄骨P造		165	338	3,978	4,481
全建物		24,807	17,381	54,073	96,261

2. 西宮市における建物被害の概要

西宮市は、兵庫県の南東部、六甲山系の東端にあり、南北にひょうたん上に展開している。大阪市と神戸市のほぼ中央に位置しており、大都市圏を形成している阪神地域の中で交通至便な文教住宅都市となっている。人口が集中しているのは、南東部の集合住宅や丘陵地と沖積平野の縁辺部の宅地造成地である。地形は海拔マイナス0.9mから標高898mに及ぶ高低差を持ち、起伏、変化に富んでいる。市域のうち六甲山地の南部は大阪湾岸の低地部とその北の台地部（上ヶ原台地）からなる。低地部は武庫川と六甲山地から流れ出る夙川・東川などの小河川が形成した沖積平野で、市街地が広がる。台地部は六甲造山運動に伴った浸食で複雑な形態となっている。六甲山地の北部は六甲山地を北流する有馬川・船坂川が山間盆地を形成し、六甲断層に平行して東流する名塩川・太多田川による谷が開析されている。六甲山地南部の夙川・御手洗川は天井川となっている。

西宮市は、兵庫県南部地震に関して気象庁が発表した震度7の帯⁹⁾の東端に位置しており、市の南部地域を横切るように震度7の帯が走っている。市の南部地域を中心に、全壊34,181世帯、半壊27,116世帯、火災発生41件、死者1,114人という被害を受けた¹⁰⁾。市別で見た場合、全壊数、死者数ともに神戸市について大きな値であった¹¹⁾。

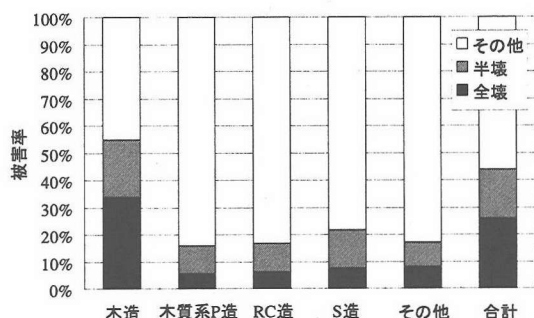


図-1 西宮市における建物の構造別被害率

(1) 使用したデータ

本研究に使用した建物被害データは、西宮市税務部情報システム課から提供されたもので、西宮市が市内の建物について、固定資産税の減免のために被災度調査を行った結果が入力されているものである。これには、個々の建物の町丁目、建築年次、構造、種類、階層、被害状況、建物位置の座標等の情報がコード化されて納められている。判定ランクは、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、西宮市ではそれ以外の建物全てに1割の減免を行い一部破損と被害なしの区別は行っていない。全壊の中には、建物が倒壊したものと倒壊はしていないが被害が大きいものの両方が含まれているが、本研究で使用しているデータではそれらの区別をすることは出来ない。なお、構造区分は木造、木質系プレハブ造（木質系P造）、鉄筋コンクリート造（RC造）、鉄骨造（S造）、鉄骨鉄筋コンクリート造（SRC造）、軽量鉄骨造（軽量S造）、レンガ造、コンクリートブロック造（CB造）、鉄筋プレハブ造（鉄筋P造）、軽量鉄骨プレハブ造（軽量鉄骨P造）の10区分である。これらのデータのうち、増築部分の独立棟でないものを除外した後、個々の建物データが持つ位置座標を用いて地理情報システム（GIS）で表示し、住宅地図¹²⁾と照合して分譲マンションや長屋等の所有者が複数に別れている建物を一棟化することで西宮市建物被害データベースを作成し、被害分析を行った¹³⁾。

(2) 建物の被害分析

西宮市の建物について、構造・年代別に被害状況を検討した。表-1に構造・年代別の被害棟数、図-1に構造別被害率を示す。これによると震災前の建物棟数は、木造建物が全体の約71%を占め、RC造とSRC造を合わせたRC系建物が約13%、S造と軽量S

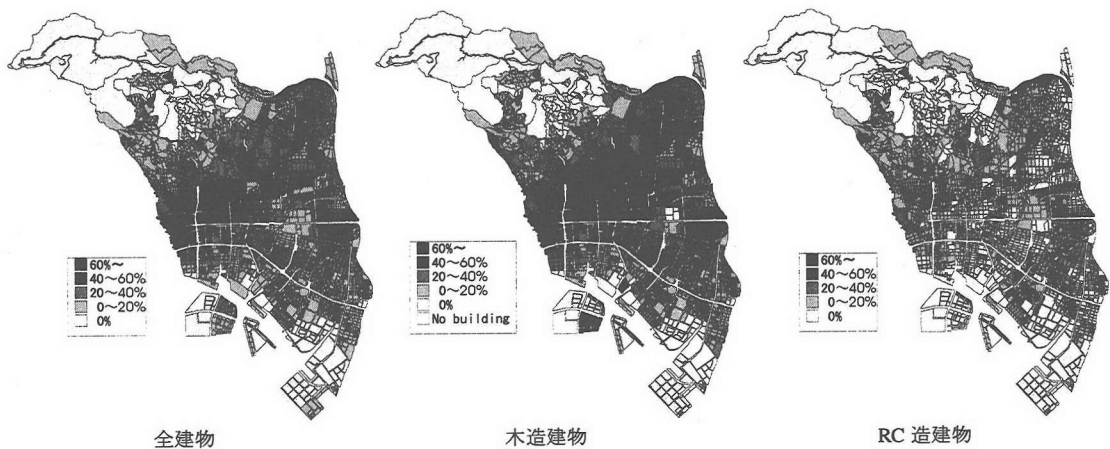


図-2 西宮市の町丁目別・構造別の全壊率分布

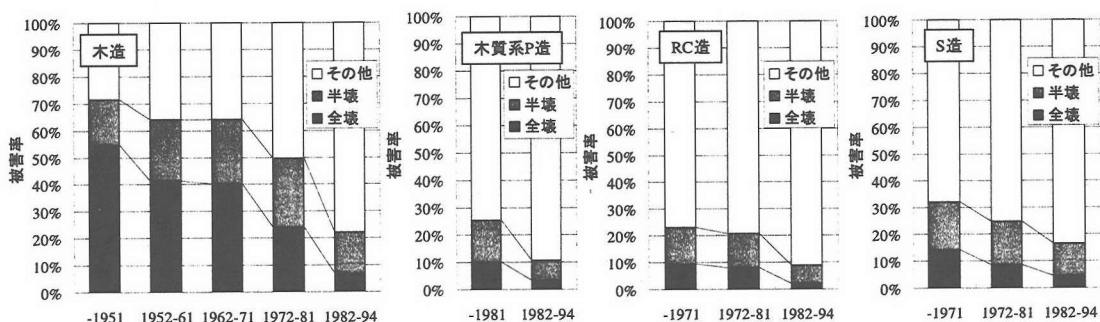


図-3 西宮市の建物の構造・建築年代別被害率

造を合わせた S 系建物が約 7%であった。構造別被害率は全壊率および全半壊（全壊＋半壊）率ともに、木造が最も高く、ついで S 造、RC 造、木質系 P 造の順で、全壊率、全半壊率とも低くなっている。同じ木質系の建物である木造建物と木質系 P 造建物とを比較すると、木造の全壊率（33.6%）は木質系 P 造（5.5%）の約 6 倍となっている。

図-2 は、町丁目ごとにこのデータから全壊率を計算し、全建物、木造建物、RC 造建物について、数値地図上に表示したものである。これを見ると、どれも被害の集中地域は市の南西部から放射状に広がっており、震度 7 の帯にあたる地域の全壊率が高くなっていることがわかる。この傾向は他の構造についても同様に見られた。しかし、その被害程度には構造間で大きな差があり、同じ地域を見た場合、全壊率は木造建物が圧倒的に高く、そして全壊率の高い地域も、木造建物が他の構造に比べて一番広範囲に渡っている。また、図-2 からわかるように、木造

建物の全壊率分布は、その数が大半を占めるために全建物の全壊率分布と似かよっている。

木造、木質系 P 造、RC 造および S 造の建築年代別の被害率を図-3 に示す。建築年の区切りは、RC 造、S 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 年ごとに区切り、分析を行ったが、木造建物に関しても比較検討のために同様の区分で分析を行った。木質系 P 造建物に関しては、棟数の関係から 1981 年を境に 2 区分とした。

どの構造も建築年代が古いものほど全壊率および全半壊率が高くなる傾向が見られる。これは周辺都市における傾向と同様である^{14)~18)}。RC 造、S 造建物について見てみると、1981 年を境に全壊率の減少率が大きくなっているが、図-4 に示す、1 年ごとの被害率の変化を見ると、RC 造は年代が新しいほうが被害率が大きくなっている年もあるが、総体的には年々徐々に被害が小さくなってきており、S 造も 1971 年あたりで急激な被害率の増減があるが、RC

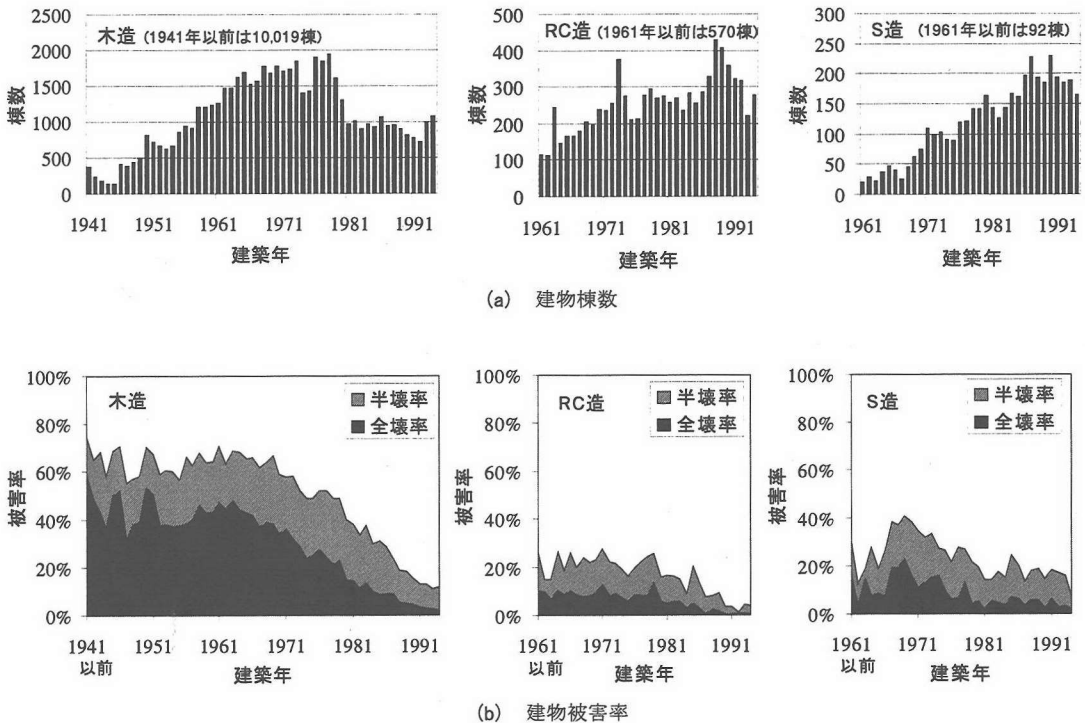


図-4 西宮市の建物棟数と建物被害率の経年変化

造と同じで年代が新しくなるほど徐々に被害が小さくなっている。同様に木造建物について見てみると、図-3では1971年と1981年を境に全壊率が大きく減少しているが、図-4ではほぼ連続的に建築年代が古くなるほど全壊率、全半壊率が増加しているのがわかる。図-3だけを見ると耐震基準改正の効果が現れているものと考えられるが、図-4の経年変化を見ると、際だって被害率の変化している年はなく、建物の経年劣化が被害に影響を与えているように思われる。本研究で用いている建物被害データからだけでは、建物被害に及ぼす経年劣化と耐震基準改正の効果の影響をはっきりと分離して考察することは不可能であるので、どちらの効果がより強い影響を及ぼしているかをはっきりさせることは出来ないが、経年劣化と耐震基準改正のそれぞれが被害率の変化に影響しているとはいえるであろう。また図-4の木造建物について、1961年以前の建物の被害率の変化があまり見られないが、これは、これらの建物が建てられてから35年以上という、木造建物としては長い年月が経っている。それだけの長い年月が経過しても残存している建物の中には、良質のものが残っている場合が多いとの指摘もあり、そういった建物と経年劣化したものとの混合割合によって、被害率の

変化が他の年代に比べて明らかでなく同じような被害率になっているものと考えられる。

図-5は、木造建物の建築年代別全壊率の分布を示している。これを見ると、全壊率の高い地域は各年代で同じような分布であるが、建築年代が古くなるほど、全壊率の高い地域の広がりが大きくなっている。この傾向は、RC造、S造建物についても同様に認められた。被災地域全域の建物被害の分析結果が日本建築学会他^{19), 20), 21)}によって、西宮市に関するものが岩井ら²²⁾によって報告されているが、本研究による分析でもそれらと同様の結果が示された。

3. 西宮市の地震動分布の再推定

これまでに筆者ら⁷⁾は、震災復興都市づくり特別委員会（日本都市計画学会関西支部、日本建築学会近畿支部都市計画部会）²³⁾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⁶⁾中の低層独立住宅の被害データを用いて、阪神地域の地震動分布の推定を行った。ここで推定された西宮市の地震動分布のうち、町丁目単位の最大速度の分布を図-6に示す。

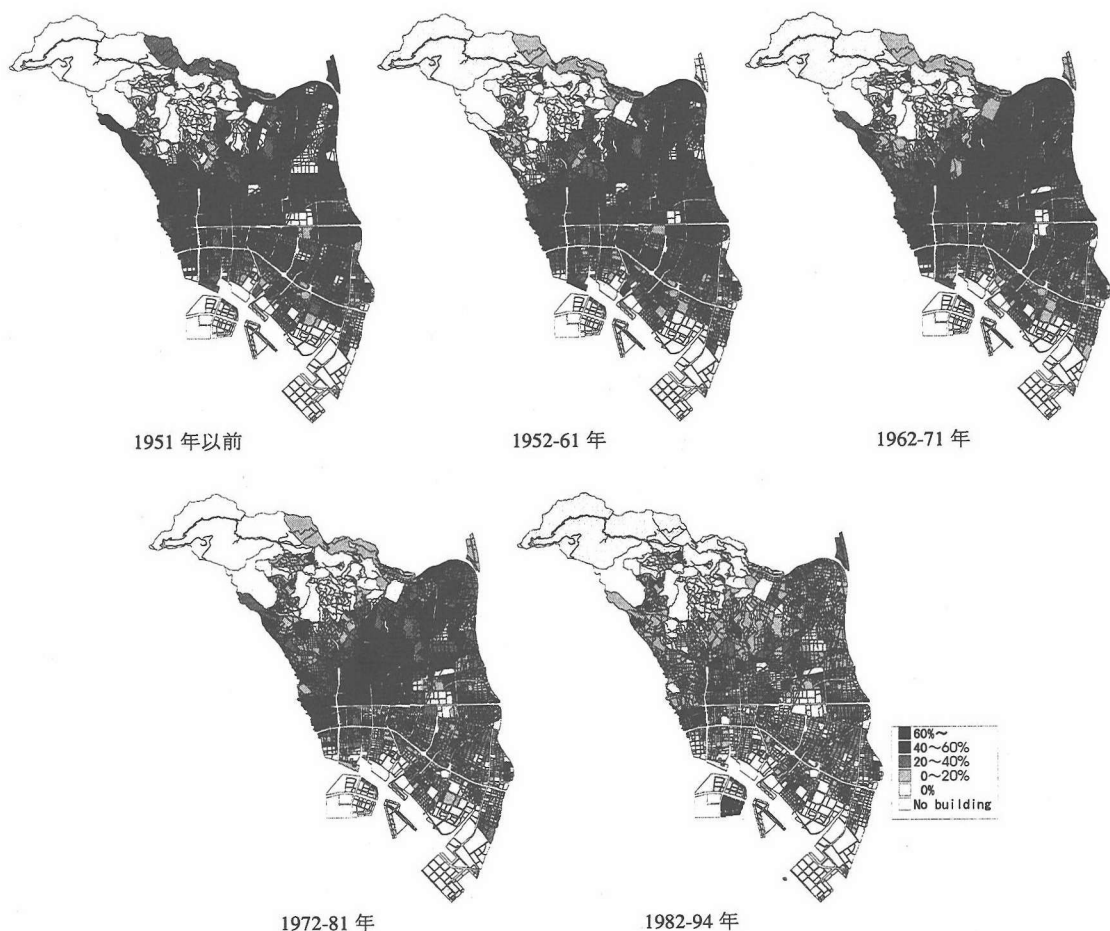


図-5 西宮市の木造建物の建築年代別全壊率分布

この地震動推定に用いた建物被害データは、建築年代の情報を持っていないために、推定地震動分布は、地域によって建築年代ごとの建物の存在割合が異なることの影響を受けていると考えられる。また、この被害データには西宮市北部地域に関するものが含まれていないので、北部地域の地震動が推定できず、対象建物数不足のために推定されていない町丁目もある。そのため、構造や建築年代を考慮した詳細な建物被害関数の構築の際には、地震動分布の補正を行う必要があると思われる。

(1) 地震動分布再推定の方法

地震動の再推定は、前報⁷⁾で筆者らが推定した地震動を仮の地震動とし、これと西宮市が行った建物被災度調査結果を用いて仮の被害関数を構築し、その関数を再度西宮市に適用することにより地震動分布を逆算する。その際に用いる被害関数は、木造建物の建築年代ごとの被害関数である。その理由とし

て、建物被害データの中で木造建物のものが絶対数が最も多く、木造建物の被害の傾向と西宮市の全建物の被害の傾向が似ているので、木造建物が全体的な被害状況をよく表していること、また、推定地震動分布から建築年代ごとの建物存在率の影響を取り除かなければならないので、建築年代を考慮した被害関数の必要があることがあげられる。

参考文献3)において林らは、参考文献2)で低層独立住宅の被害データをもとに推定した最大速度分布の推定精度を向上させ推定範囲を広げるために、建築研究所のデータ中の低層独立住宅以外の建物被害データも同時に用いて最大速度分布の再推定を行っている。しかし、その際に用いている建物被害データは建築年代の情報を持っていないために、再推定した最大速度分布から、地域によって建築年代ごとの建物の存在確率が異なることの影響を取り除くことは出来ていないものと考えられる。

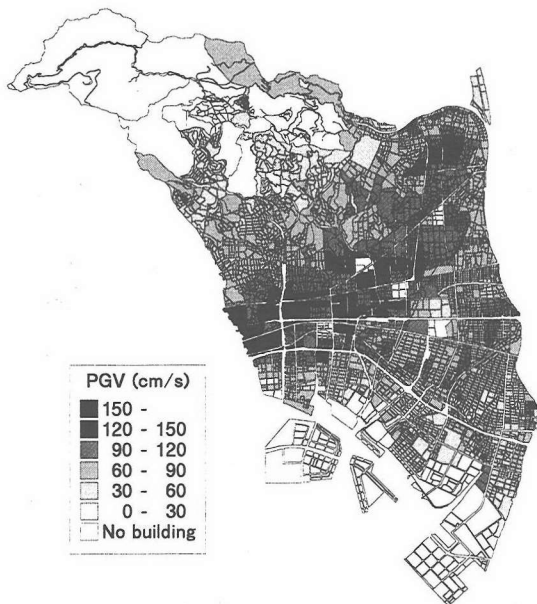


図-6 西宮市における推定最大速度分布⁷⁾

(2) 木造建物の建築年代ごとの被害関数

ここでは、低層独立住宅被害データより推定された西宮市の地震動分布と西宮市が実施した建物被災調査結果を用いて、木造建物の建築年代ごとの被害関数を構築する。建築年代の区分は、前章での被害分析の際の区分と同じ5区分(1951年以前, 1952-61年, 1962-71年, 1972-81年, 1982-94年)とした。ここで用いた建物被害データは町丁目単位であるため、建物棟数が不十分であったり、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、地震動の大きさを町丁目を並べ替えた上で、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。ここでは、各建築年代ごとに建物データを30区分し、区分ごとの棟数は建築年代の古い方から順に、420棟, 300棟, 500棟, 470棟, 290棟である。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を求めている。

このようにして求めた地震動強さと被害率の関係から、建物被害関数を求める。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(x が計測震度 I の場合は正規分布)で表せると仮定した。すなわち、

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

表-2 木造建築年代別の仮の被害関数の回帰係数

	建築年代	全壊			全半壊		
		λ	ζ	R^2	λ	ζ	R^2
PGA (cm/s ²)	-1951	6.46	0.499	0.858	6.05	0.630	0.767
	1952-61	6.63	0.544	0.907	6.20	0.608	0.891
	1962-71	6.63	0.510	0.961	6.21	0.549	0.942
	1972-81	6.88	0.578	0.882	6.38	0.507	0.923
	1982-94	7.65	0.767	0.810	6.94	0.773	0.868
PGV (cm/s)	-1951	4.34	0.437	0.860	3.98	0.552	0.770
	1952-61	4.49	0.475	0.910	4.12	0.531	0.897
	1962-71	4.49	0.447	0.961	4.12	0.481	0.945
	1972-81	4.72	0.510	0.878	4.27	0.446	0.923
	1982-94	5.39	0.676	0.807	4.76	0.681	0.867
SI (cm/s)	-1951	4.49	0.461	0.859	4.12	0.582	0.769
	1952-61	4.65	0.502	0.908	4.26	0.561	0.894
	1962-71	4.65	0.472	0.961	4.26	0.508	0.944
	1972-81	4.89	0.538	0.878	4.42	0.471	0.923
	1982-94	5.60	0.714	0.807	4.94	0.719	0.867
計測震度	-1951	6.14	0.411	0.860	5.81	0.518	0.773
	1952-61	6.29	0.446	0.909	5.94	0.498	0.898
	1962-71	6.29	0.424	0.958	5.94	0.455	0.947
	1972-81	6.51	0.489	0.866	6.08	0.425	0.920
	1982-94	7.15	0.649	0.801	6.55	0.651	0.865

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

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

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

となる。ここで λ , ζ は、 $\ln x$, I それぞれの平均値および標準偏差であり、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-2に示す。また、木造建物の建築年代別の最大速度に関する仮の建物被害関数を図-7に示す。図-7を見ると、全壊率、全半壊率のどちらも、建築年代の古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。しかし1952-61年と1962-71年は全壊率、全半壊率ともほぼ重なってしまっており、大きな違いが見られない。以上の結果は前章での被害分析結果と整合している。

(3) 西宮市における地震動分布の再推定

次に前節で求めた木造建物の建築年代ごとの仮の被害関数を用いて、西宮市の地震動分布を逆算した。西宮市の各町丁目について、それぞれの建築年代(5区分)ごとの被害関数(全壊と全半壊)から地震動を推定するわけであるが、推定に必要な最少限の棟数を15棟と考え、各年代ごとの建物の全棟数が15棟未満の町丁目については、15棟以上となるように周辺の町丁目と統合した。その際、表層地盤種ごとに建物被害率が異なるので¹³⁾、図-8に示す、ボーリングデータと土地条件²⁴⁾を参考に求めた、西宮市の表層地盤分類を考慮して、同じ地盤種の町丁目同士を統合する。なお、地盤分類を行う際に参考にしたボーリングデータ数は60箇所であり、このデータ

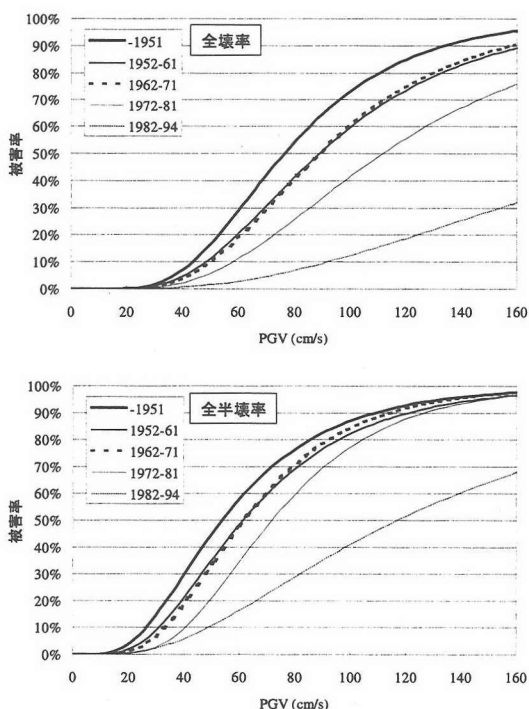


図-7 木造建築年代別の仮の被害関数

を使って西宮市の地盤を7つのタイプに分類し、ボーリングデータの少ない、もしくは得られなかった地域を分類するには土地条件図を用いた。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または無限大となるため、同様の方法で統合する。このようにして、5つの建築年代ごとの全壊率、全半壊率についての10通りの推定地震動を得る。

各建築年代ごとに全壊率と全半壊率の被害関数からの2通りの地震動が推定されたが、ここで図-9に示すように各年代ごとに2つの推定地震動値を比較する。ただし全壊率と全半壊率のどちらか一方が0%または100%になる場合は除いてある。図-9は最大速度に関するものを示しているが、他の地震動値でも同様の結果を得た。比較した結果を見ると、1972-81年と1982-94年の決定係数が比較的小さくなっており、相関が低くなっていることを示しているが、最大速度の大きな領域でのばらつきが影響しているものと考えられる。全壊率と全半壊率の傾きを見てみると、0.970から1.03の間にあり、全壊率による推定値と全半壊率による推定値はほぼ等しいといえる。



図-8 西宮市の地盤分類

そこで、各建築年代において全壊率からと全半壊率からの推定値の平均を、各建築年代の地震動推定値とする。なお、全壊率と全半壊率のどちらかが0%もしくは100%の場合は、もう片方の推定値を用いている。次に、各町丁目について、上記のようにして求めた5つの建築年代ごとの地震動推定値の、平均値、最大値と最小値を求める。図-10は最大速度について、5つの平均値の小さい順に町丁目を並べ替えて、町丁目ごとに5つの推定値の平均値、最大値、最小値を表示したものである。これを見ると地震動値が大きい町丁目で平均値からのずれが大きくなる点があるが、全体的に見ると、各建築年代ごとの推定値の平均をとることにより、各年代ごとの被害関数による推定値の差を補正できると考えられる。そこで5つの建築年代ごとの地震動推定値の平均値を、地震動の再推定値とする。

以上のような方法で再推定した西宮市の地震動分布のうち、最大速度分布を図-11に示す。前報⁷⁾では建物被害データがないために推定できなかった、市の北部地域の地震動が新たに推定されている。また、図-6を見るとわかるが、南部地域でも中心部付近で対象建物棟数不足のために地震動が推定されていない地域があったが、再推定後は、海岸沿いの埋め立て地域を除く全域の地震動が推定されている。このように、再推定を行うことで地震動が推定される地域を広げることが出来た。これにより、建物構造や

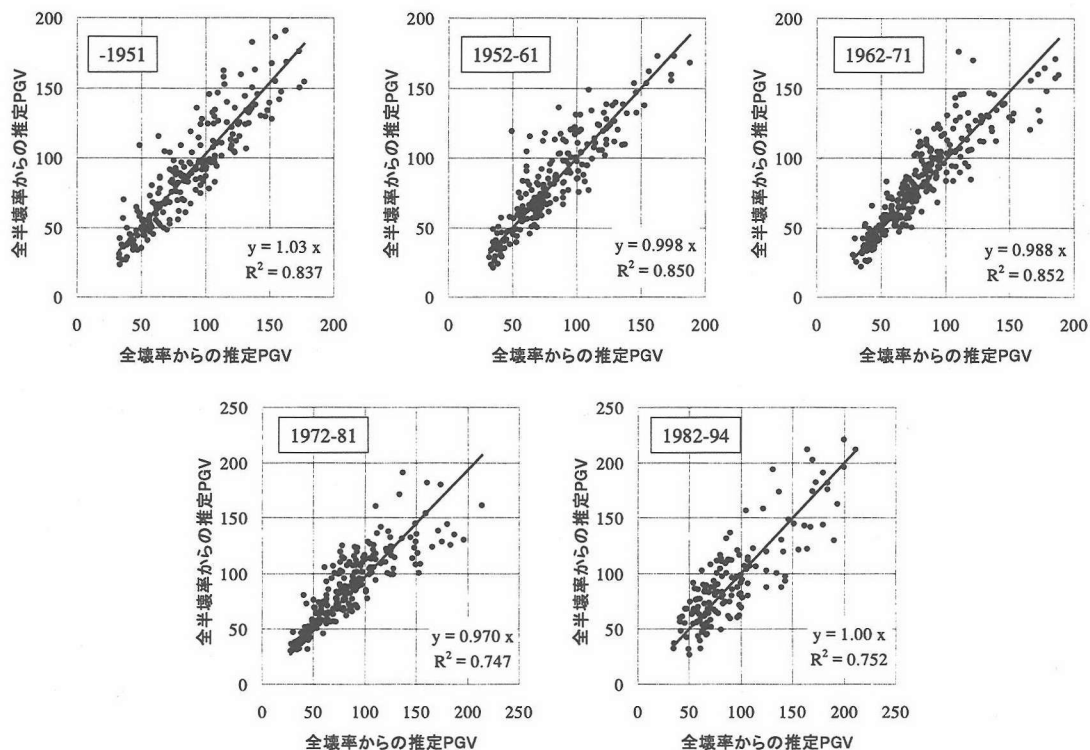


図-9 建築年代ごとの全壊率と全半壊率により推定された最大速度値の比較 (単位: cm/s)

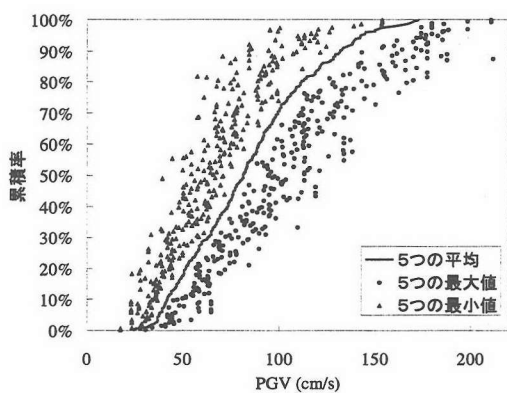


図-10 5つの建築年代の最大速度値の平均値と各年代の最大値・最小値

建築年などを考慮した詳細な建物被害関数を構築する際に、この再推定した地震動分布を用いることで、より多くの建物被害データが使えることとなり、被害関数の精度の向上につながるものと考えられる。

図-12 は再推定した地震動分布と再推定前の推定

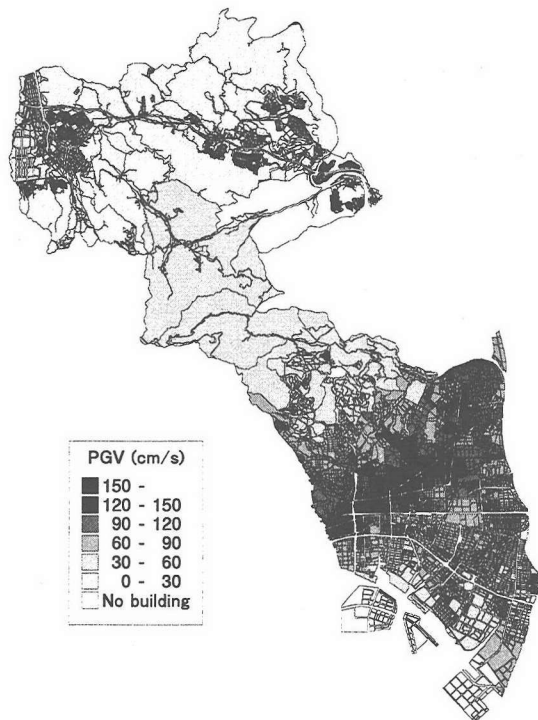


図-11 再推定した西宮市の最大速度分布

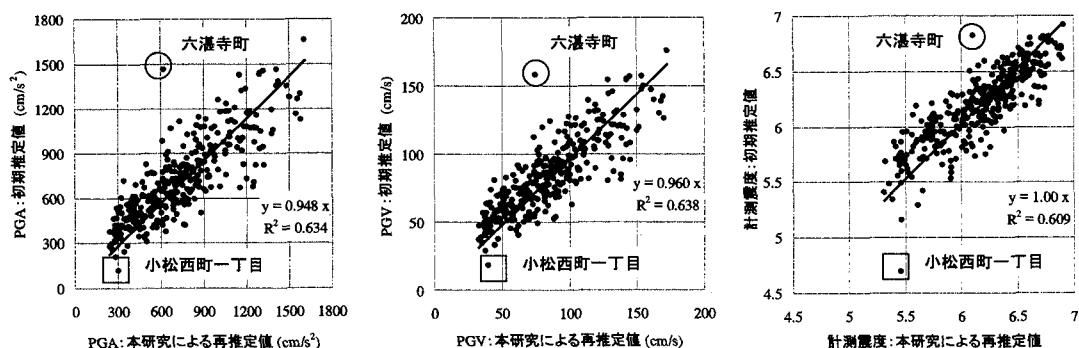


図-12 西宮市における地震動指標の初期推定値⁷⁾と再推定値との比較

地震動分布を西宮市の町丁目ごとと比較したものである。再推定値の方が全体的に小さい値になっているのがわかる。決定係数が0.609から0.638と小さくばらつきはあるが、近似直線の傾きが0.948から1.00であるので、全体的には同じような分布をしているといえる。また、図-12中に丸で囲んだ点(六湛寺町)があるが、他の点から大きく外れている。この町丁目では、再推定前の推定地震動を決める際に用いた建築研究所データでの建物棟数が18棟と少なかったために、精度のよい推定が出来ず周辺地域とも推定値が大きく異なっていた。しかし、今回再推定に用いた西宮市の建物被災度調査結果では、対象建物棟数が114棟と多くなったため、周辺町丁目との推定値の差もほとんどなくなるなど推定精度が上がり、その結果、大きく外れた点となったものと考えられる。このほか、図-12中の四角で囲んだ点(小松西町一丁目)も、とくに計測震度の図で大きく外れている。前報⁷⁾では、推定地震動値を求める際に、十分な対象棟数があるが、全壊・半壊以上・一部損壊以上の割合の全てが0となる場合、一部損壊以上の割合を仮に0.001%として推定値を求めているので、推定値は非常に小さくなる。小松西町一丁目はそのような操作をした町丁目に当たるのだが、本研究の再推定の際には、周辺の町丁目と統合することで被害率が0%になる町丁目をなくしているため、大きな差が生じたと考えられる。

高田・嘉嶋²⁵⁾は、兵庫県南部地震発生の半年後に約2万人を対象にアンケート調査を行い、その調査結果より被災地域のアンケート震度を求めている。ここでは、そのアンケート震度と再推定前後の計測震度との比較を西宮市の町丁目ごとに行った。図-13はその結果である。アンケート震度はいくつかの地震において、被災地域の震度をある程度の精度をもって表現できることが確かめられている²⁶⁾ので、わ

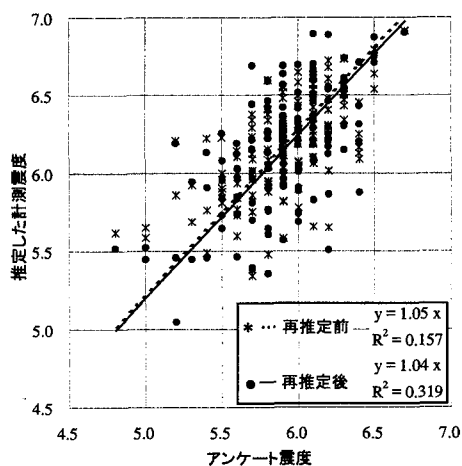
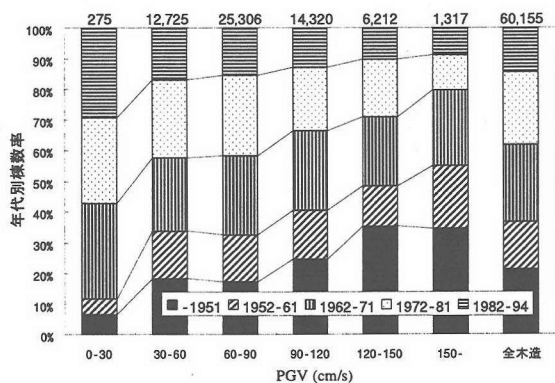


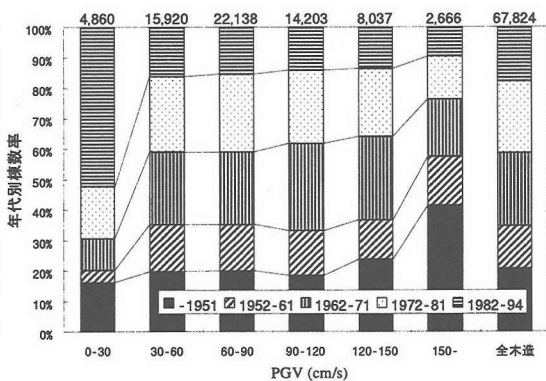
図-13 推定計測震度とアンケート震度との比較

ずかだが再推定後の計測震度の方がアンケート震度との相関が高くなっているということは、再推定によって推定の精度を高めることが出来たものと考えられる。

文献7)の推定地震動(最大速度)と本研究で得た再推定地震動をそれぞれ30cm/sごとにランク分けし、西宮市が行った被災度調査に基づく、木造建物の建築年代ごとの棟数率を比較したものを図-14に示す。まず、地震動を推定できる地域が増加したことにより、全体の棟数が60,155棟から67,824棟と8,000棟近く増えているのがわかる。再推定前の図を見ると、1951年以前の建物は、30cm/s以下の最大速度では7%弱であるが、150cm/s以上になると3分の1以上を占めており、最大速度が大きくなるほど大きな割合を占めるようになっている。逆に1982年以降に建てられた建物は、30cm/s以下では30%近くであるが、最



(a) 再推定前



(b) 再推定後

図-14 最大速度のランク別建築年代別棟数率の比較

大速度が大きくなるにつれてその占める割合が減少していき、150cm/s以上では9%弱になっている。このように再推定前は、古い建物ほど地震動が大きくなるにつれて、その割合が増えており、このことは再推定前の地震動分布が建築年代ごとの建物存在率の影響を受けているためであると考えられる。

一方、再推定後の図を見ると、最大速度が30cm/s以下のところで1982年以降の建物が半数以上を占めている。再推定後のこの範囲の最大速度は、新たに推定された北部地域でのみ得られており、北部地域には新興住宅地域が多く分布していることから、北部地域の木造建物分布の特徴がそのまま現れているものと思われる。また、最大速度が150cm/sを越えるところでの1951年以前の建物の割合が40%以上になっている。これはこの地震動範囲に含まれる町丁目の中に、1951年以前の木造建物棟数が470棟という地区（北口町）が存在するので、その影響でこの年代の割合が高くなっているものと考えられる。この地区は再推定前には、最大速度が120-150cm/sの範囲に含まれており、1951年以前の建物が占める割合が150cm/s以上のところよりも高くなっていることに影響を与えているものと思われる。こういった特異な点を考慮して再推定前後の図を比較してみると、再推定後は各地震動ランクで各建築年代の建物の比率が、全体的に再推定前に比べて平均化されて全木造における比率に近くなっており、地震動分布への建築年代ごとの建物存在率の影響が除かれているものと思われる。

4. まとめ

筆者らはこれまでに、地震による建物被害を評価し、構造・建築年を考慮した建物被害関数を構築する際に使用することを目的として、兵庫県南部地震の強震記録と、震災復興都市づくり特別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度調査結果を、建設省建築研究所が数値化したデータの中の低層独立住宅被害データとを用いて、阪神地域の地震動分布を推定してきた。しかし、この地震動分布には建築年代ごとの建物存在率の影響が含まれていると考えられ、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ので、詳細な建物被害関数の構築の際には、他の建物被害調査結果を用いて地震動分布を再推定することが必要であると考えた。

そこで本研究では、西宮市によって行われた建物被災度調査結果を用いて地震動の再推定を行った。まず、西宮市の建物被害の分析を行い、その結果、どの構造も建築年代が古くなるほど被害が大きくなる傾向があり、中でも木造建物が全般的な被害状況をよく表していることがわかった。木造建物は、データ数も一番多く、地震動の再推定には木造建物のデータを用いることにした。地震動分布から建築年代ごとの建物存在率の影響を取り除くために、建築年代別の仮の被害関数を構築したが、全壊率、全半壊率とも建築年代の古い建物ほど、被害率は大きく、実際の被害状況とよく一致していた。

この仮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した。その結果、地域によって建築年代ごとの建物存在率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でき、筆者らが建築研究所データの低層独立住宅被害を用いて地震動分布を推定した際の課題を解消することができた。

本研究で推定された地震動分布と詳細な建物被害データを用いることにより、構造、建築年、屋根種別など、建物の詳細な情報を含む被害関数を構築することが今後可能である。それらは現在、地震被害想定などに使われている被害関数と比べて、量的にも質的にもよいデータを用いて構築されるので、より高い精度での被害予測が可能になるものと思われる。

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) 藤本一雄，翠川三郎：被害分布から推定した兵庫県南部地震の震度分布とその解釈，第 2 回都市直下地震災害総合シンポジウム論文集，pp.97-100，1997。
- 5) 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。
- 6) 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。
- 7) 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。
- 8) 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。
- 9) 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。
- 10) 西宮市総務局行政資料室：1995・1・17 阪神・淡路大震災 西宮市の記録，1996。
- 11) 国土庁：防災白書平成 9 年版，1997。
- 12) ゼンリン：ゼンリン住宅地図'94 西宮市（南部，北部，郊外），1994。
- 13) 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。
- 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.148-154，1996。
- 15) 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.156-160，1996。
- 16) 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。
- 17) 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。
- 18) 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講演論文集，pp.1261-1264，1997。
- 19) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会：阪神・淡路大震災調査報告 鉄筋コンクリート造建築物，1997。
- 20) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会：阪神・淡路大震災調査報告 鉄骨造建築物，シェル・空間構造，容器構造，1997。
- 21) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会：阪神・淡路大震災調査報告 木造建築物，建築基礎構造，1998。
- 22) 岩井哲，亀田弘行，碓井照子：阪神・淡路大震災における西宮市の都市施設の被害と復興の総合的分析のための GIS 利用，第 24 回地震工学研究発表会講演論文集，pp.1265-1268，1997。
- 23) 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。
- 24) 建設省国土地理院：1/25,000 土地条件図「大阪北西部」，1983。
- 25) 高田至郎，嘉嶋崇志：兵庫県南部地震に関するアンケート調査—集計結果報告書—，神戸大学工学部建設学科土木系教室耐震工学研究室兵庫県南部地震アンケート調査分析グループ，1996。
- 26) 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，Vol.16，No.4，pp.307-323，1998。

（1999. 6. 15 受付）

RE-ESTIMATION OF STRONG GROUND MOTION IN NISHINOMIYA CITY BASED ON DAMAGE SURVEY DATA WITH DETAILED BUILDING INFORMATION

Naoya YAMAGUCHI and Fumio YAMAZAKI

In order to evaluate the building damage in the 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake, it is important to estimate the distribution of strong ground motion. We have estimated the ground motion distribution in Hanshin area using the recorded ground motion and building damage data compiled by Building Research Institute (BRI). However, the estimated strong motion distribution might be affected by the construction period of buildings in each district and the distribution was not estimated in some areas without enough number of buildings. Hence in this study, the ground motion distribution was re-estimated using the building damage data surveyed by Nishinomiya City, which have detailed building information. Using the re-estimated distribution, fragility curves considering detailed building information can be developed.