

# 木造建物を対象とした 層破壊被害関数の適用性に関する考察

堀江 啓<sup>1</sup>・沖村 孝<sup>2</sup>・鳥居 宣之<sup>3</sup>・田中 聡<sup>4</sup>・牧 紀男<sup>5</sup>・林 春男<sup>6</sup>

<sup>1</sup>防災科学技術研究所地震防災フロンティア研究センター研究員・神戸大学大学院自然科学研究科  
(〒651-0073 兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通1-5-2)

E-mail:khorie@edm.bosai.go.jp

<sup>2</sup>神戸大学大学院自然科学研究科教授 (〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1)

E-mail: okimura@kobe-u.ac.jp

<sup>3</sup>神戸大学都市安全研究センター助手 (〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1)

E-mail:torii@kobe-u.ac.jp

<sup>4</sup>京都大学防災研究所助手 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

E-mail:tanaka@imdr.dpri.kyoto-u.ac.jp

<sup>5</sup>防災科学技術研究所地震防災フロンティア研究センター副チームリーダー

(〒651-0073 兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通1-5-2)

E-mail: maki@edm.bosai.go.jp

<sup>6</sup>京都大学防災研究所巨大災害研究センター教授 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

E-mail:hayashi@drs.dpri.kyoto-u.ac.jp

1995年阪神・淡路大震災では、関連死を除いた5,500名あまりの死者の内、8割以上が家屋の倒壊に起因したと報告されている。これより多様な建物の破壊状態の中で、建物内の生存空間が失われる「層破壊」の発生機構の解明は重要な課題である。本研究では、まず、今後起こりうる大規模地震災害に対して、建物被害の発生を事前に評価することにより、行政の災害対応の効率化を図ることを目的として構築した木造建物の層破壊被害関数についてその概要を紹介する。次に、構築した被害関数を兵庫県西宮市および兵庫県神戸市東灘区に適用し、阪神・淡路大震災における木造建物の層破壊被害の面的な空間分布および建物1棟単位の発生分布に関して、その妥当性を考察する。

**Key Words :** *building damage pattern, completely collapsed building, risk assessment, disaster management, Hanshin-Awaji earthquake disaster*

## 1. はじめに

1995年に発生した阪神・淡路大震災では、発災が早朝であったこともあり、自宅の倒壊により下敷きとなり圧死した場合が死者の8割以上を占めていたと報告<sup>1)</sup>されている。これより、建物被害のうち、建物内の生存空間が失われる「層破壊」が人的被害発生の最重要ファクターの一つであったと考えることができる。したがって、人的被害の軽減を図るためには、このような層破壊の発生機構を解明し、層破壊発生の危険性が高い建物や地域を事前に予測・評価して対策を講じることが肝要である。

建物被害を比較的簡便に評価する手法として、地震動と建物被害の関係から被害関数を求める方法がある。建物被害関数の構築に関する研究<sup>(例え(2),(3),(4),(5))</sup>はこれまでにいくつか行われているが、建物の層破

壊に着目した研究は少ない。その理由として、それらの被害関数を求めるために使用された地震後の建物被害調査の結果には、その被災程度の分類カテゴリの中に「層破壊」が含まれておらず、層破壊は「全壊」や「大破」といったカテゴリの中に含まれる形で評価されていたことが挙げられる。

このような地震後の建物被害評価における問題の解として、岡田、高井<sup>6),7)</sup>は木造建物およびRC建物の被害パターンの分析を行い、建物被害を視覚的に分類した被害パターンチャートを提案している。また、岡田ら<sup>8)</sup>は崩壊パターン別に建物被害の発生を評価するために、1975年を境とした木造建物の被害関数を構築している。しかし、構築対象とした地域は、東灘区東部地区に限られており、今後さらに建物の破壊に関する資料を蓄積し、特に層破壊がどのような条件下で発生したのか、その発生機構を解明

する必要がある。

村上ら<sup>9),10)</sup>は層破壊発生機構に関して、層破壊発生と建築年代、規模、屋根種別との関係を明らかにし、さらに倒壊限界必要壁率、倒壊限界変形角、必要終局せん断係数に関する検討を行っている。ただし、対象範囲は東灘区西部地区に限定されており、地震動を震度6, 7の地域として画一的に取り扱っているため、個々の建物に入力された地震動の大きさの影響に関する検討は十分になされていない。

著者ら<sup>11),12)</sup>の研究グループでは、これまでに阪神・淡路大震災時に撮影された豊富な被害写真から層破壊建物を同定し、木造建物の層破壊発生と地震動強さとの関係、および建築年や建物規模などの属性との関係を明らかにしてきた。さらに人的被害を軽減するための対策を講じる上で、行政の防災担当者に、より現実的な災害状況を反映した情報提供を目的として、建物属性を考慮した層破壊被害関数を構築している<sup>13)</sup>。

本研究では、その構築した層破壊被害関数の概要を紹介するとともに、兵庫県西宮市および神戸市東灘区を対象として被害関数の適用性を考察する。

## 2. 木造建物の層破壊被害関数の構築

### (1) 使用データ

#### a) 層破壊建物データ

著者ら<sup>11)</sup>は防災科学技術研究所地震防災フロンティア研究センターで構築した阪神・淡路大震災GISデータベース「西宮 Built Environment データベース

<sup>14)</sup>」（以下、西宮BEDB）を用いて、西宮市における層破壊被害建物の同定を行っている。このデータベースには、西宮市の96,176棟の建物について、建物属性、人的被害、建物被害調査結果、被害写真などのデータが建物1棟単位でリンクされている。この建物のうち被害写真に撮影された26,075棟の建物について、1) 岡田、高井<sup>6),7)</sup>により提案された被害パターンチャートに基づく被害分類、2) 航空写真を用いた被害判読、および3) 現地聞き取り調査による被害確認の3段階の手法により層破壊発生の有無を判別した。なお、判別にあたり層破壊建物は図-1に示す岡田、高井による被害パターンチャートのダメージグレードD5以上と定義した。ただし、建物の2階部分が層破壊を起こすパターンであるUd5(+,-)については、内部空間の損失量から細分類を行い、Pd5(+,-)を新たに設定している。その結果、1,114棟を層破壊と判定した。

#### b) 地震動データ

地震動データは、Kohiyamaら<sup>15)</sup>が西宮BEDBを用いて佐藤ら<sup>16)</sup>の手法により西宮市南部地域について地震動分布シミュレーション解析を行った結果を用いた。シミュレーション解析は断層の破壊点から観測点までの地震動の伝播経路の影響と地盤の増幅特性を考慮するため、断層モデルはSekiguchiら<sup>17)</sup>の断層破壊過程モデルを使用し、深層地盤モデルおよび109地点のボーリングデータに基づく表層地盤モデルを構築して、1次元重複反射理論により地表面の地震動のフーリエスペクトルを求めたものである。

### ダメージグレード

D0

D1

D2

D3

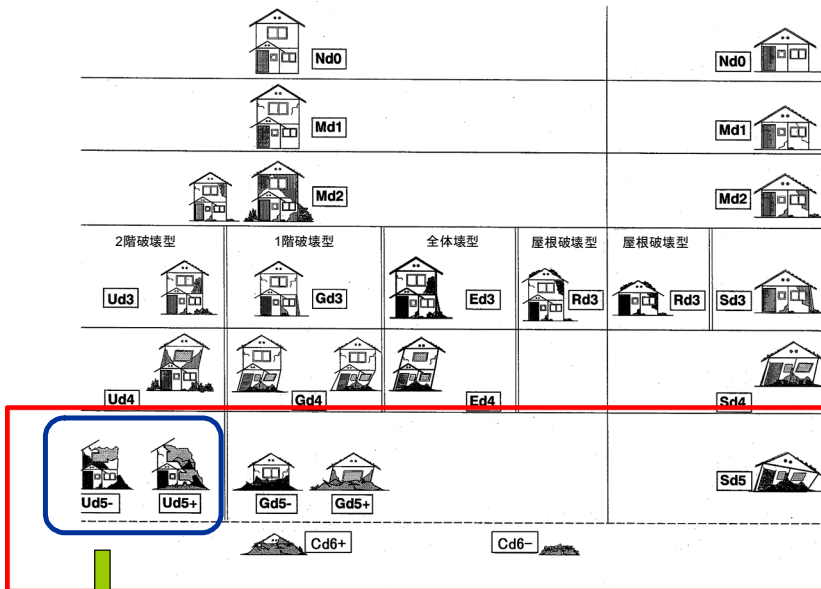
D4

D5

D6

木造2階建て建物の被害パターン

木造1階建て建物の被害パターン



層破壊パターン  
=D5以上  
(生存空間の損失)

Cd6  
Gd5 1以上の層が潰壊  
Ud5  
Pd5 層が部分的に潰壊  
Sd5

4つに細分類

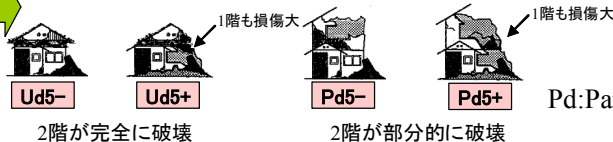


図-1 木造用被害パターンチャート（岡田・高井<sup>6),7)</sup>によるチャートに一部加筆）

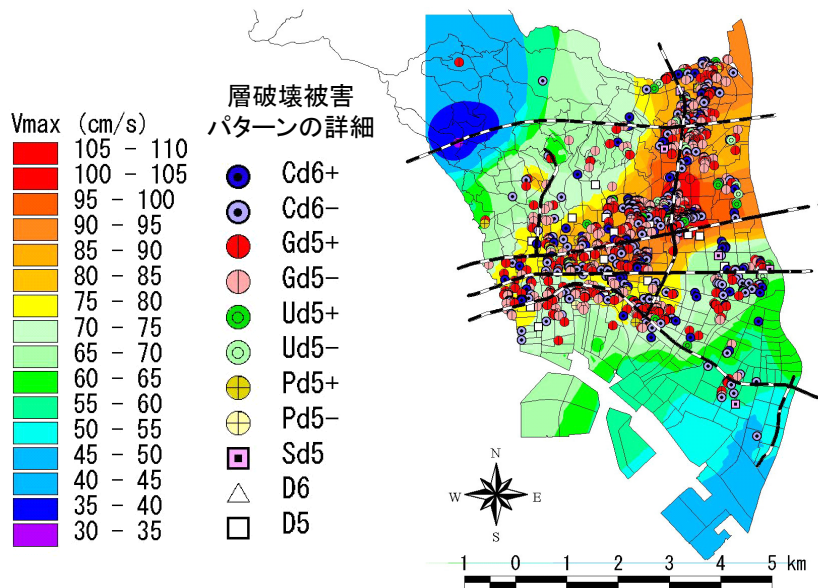


図-2 最大地表速度 (PGV) と層破壊建物の分布

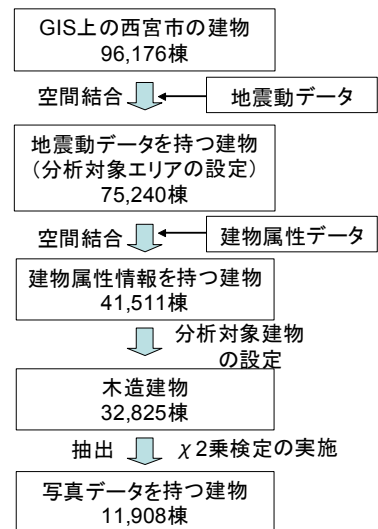


図-3 データセット作成の流れ

図-2にシミュレーション結果から得られた最大地表速度の分布と層破壊建物の分布を重ねて示す。

### c) データセットの作成

上記データを用いて被害関数を構築するにあたり、図-3に示す流れに従ってデータセットを作成した。西宮BEDBの96,176棟の建物にまず、地震動データを空間結合によりリンクさせた。ここで地震動分布の解析はGISの機能を用いて内挿計算を行って評価したものであるため、図-4に示すように解析結果の信頼性が高いボーリングポイントで囲まれる範囲を分析対象エリアとして設定した。

この対象エリア内の建物75,240棟に属性情報をリンクさせ、木造建物32,825棟を分析対象建物として設定した。さらに、このデータから写真データを持つ建物11,908棟をサンプルデータとして抽出した。ただし、写真は意識的あるいは無意識のうちに被害程度の大きい建物や写り映えの良い建物を撮影している可能性があるため、著者ら<sup>11)</sup>は $\chi^2$ 乗検定によりサンプルデータが建物属性および建物被害の面で偏って抽出されていないことを確認している。

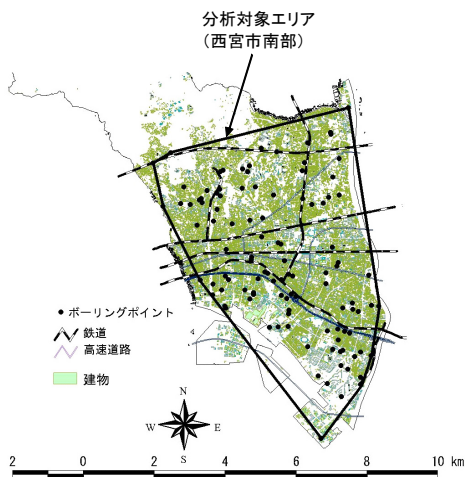


図-4 分析対象エリア

### (2) 層破壊発生要因の影響度

簡便に利用することが可能な被害関数を構築するためには、建物の耐震性を適当にグループ化し、耐震性を考慮した被害関数を作成することが有効である。その耐震性について木造建物の場合には、壁量や耐震診断結果など、直接的に耐震性を評価した指標を用いることが理想であるが、建物内部の詳細調査が必要であり、とくに層破壊を対象とした場合、実際に層破壊した建物のこのような指標データを十分に得ることは困難である。著者ら<sup>11)</sup>は、自治体が保有している建物情報と層破壊被害との関係について分析を行っている。その結果、以下の結論を得ている。

- 1) 建物種類：共同住宅、農家住宅の層破壊率が一戸建住宅、長屋建住宅、商工業施設などに比較して高い。
- 2) 建築年：古いほど層破壊率が高くなる傾向がある。
- 3) 建築面積：大きくなると層破壊率が高くなる傾向がある。
- 4) 建物形状：建物に偏心がみられる形状や2階のボリュームが大きい総2階に近い形状の建物の層破壊率が高くなる傾向がある。
- 5) 階数：2階建ての方が1階建てより層破壊率が高くなる傾向がある。
- 6) 屋根種類：瓦を使用している方が瓦以外を使用している場合よりも層破壊率が高い。

これらの影響因子がそれぞれどの程度層破壊の発生に寄与していたのかを明らかにするために数量化Ⅱ類による検討を行った。外的基準とアイテム・カテゴリーを図-5に示す。外的基準は層破壊を発生していたか否かで、アイテム・カテゴリーはa) 地震動強さ、b) 建物種類、c) 建築年代、d) 建築面積、e)



外的基準は「層破壊被害：590棟」、「層破壊以外の被害：10673棟」

アイテム	カテゴリー	度数	カテゴリースコア	範囲	偏相関係数	
地震動強さ (最大地震動速度) V [cm/s]	1: V<50	252	-0.483	1.638	0.155	
	2: 50≤V<60	1605	-0.757			
	3: 60≤V<70	2497	-0.416			
	4: 70≤V<80	1977	0.347			
	5: 80≤V<90	2023	0.238			
	6: 90≤V<100	2391	0.315			
	7: 100≤V	518	0.831			
建物種類	1: 一戸建住宅	10029	-0.066	1.502	0.080	
	2: 共同住宅	782	0.856			
	3: 長屋建住宅	179	-0.646			
	4: 農家住宅	78	0.768			
	5: 商工業住宅	91	0.160			
	6: その他(寺社など)	104	0.316			
建築年代 Y [年]	1: Y≤1945	1304	1.765	2.396	0.216	
	2: 1946≤Y≤1955	601	0.519			
	3: 1956≤Y≤1960	908	0.451			
	4: 1961≤Y≤1964	1169	0.214			
	5: 1965≤Y≤1971	2234	-0.177			
	6: 1972≤Y≤1981	3417	-0.541			
	7: 1982≤Y≤1994	1630	-0.631			
建築面積 A [cm2]	1: A<30	663	-0.225	1.079	0.090	
	2: 30≤A<60	4787	-0.235			
	3: 60≤A<90	2599	0.038			
	4: 90≤A<120	1347	0.051			
	5: 120≤A<150	706	0.378			
	6: 150≤A<180	407	0.489			
	7: 180≤A	754	0.844			
面積比 (延床面積/建築面積) R [比率]	1: R<1.2	978	-0.172	0.528	0.037	
	2: 1.2≤R<1.4	844	-0.311			
	3: 1.4≤R<1.6	1680	-0.014			
	4: 1.6≤R<1.8	2135	-0.002			
	5: 1.8≤R<2.0	3842	0.031			
	6: 2.0≤R<2.2	1597	0.216			
	7: 2.2≤R	187	-0.023			
階数	1: 1階建て	938	-0.815	0.889	0.074	
	2: 2階建て	10325	0.074			
屋根種類	1: 瓦屋根	9562	0.050	0.331	0.040	
	2: 瓦屋根以外	1701	-0.281			

図-5 アイテム・カテゴリーデータと分析結果

表-1 建築年代区分の設定

建築年代区分	設定に考慮した事項
-1945	戦前・戦中期
1946-1955	戦後復興期。1950年に建築基準法が公布されているが、この時期の建物棟数が少ないため、区分することができない。
1956-1960	高度成長期前期。社会的には1959年の皇太子様ご成婚により、テレビが爆発的に普及し、それまでのマスメディアの役割を大きく変容させた。テレビの普及によって全国的に画一化された情報提供が促進され、住宅に対する意識にも大きな影響を与えたと推測される。また、区分には1959年 <sup>注1)</sup> の建築基準法改正も考慮した。
1961-1964	高度成長期中期。社会的には国家プロジェクトとしての1964年の東京オリンピック開催は、我が国の都市基盤整備を大きく促進させ、建設ラッシュを生んだ。
1965-1971	高度成長期後期。社会的にはオイルショックによって低成長期へと移行するまでの間、関西圏での1970年の大阪万国博覧会の開催をはじめ、経済成長の影響が全国に拡大していったと考える。また、区分には1971年の建築基準法施行例改正も考慮した。
1972-1981	低成長期前期。1981年の建築基準法施行例改正を考慮した。また、社会的には、1980年から、当時の建設省と通産省が推進した国家的事業として、高品質の住宅を低廉な価格で供給することを目的とした「ハウス55プロジェクト」がスタートしたことも考慮した。
1982-1994	低成長期後期。

面積比（延床面積を建築面積で除したもの）、f) 階数、g) 屋根種類である。サンプルデータは、図-4に示す分析対象地域において地震動データ、建物属性データ、写真データの全て情報が備わっている木造建物11,908棟のうち、層破壊の発生が少なかった木質系プレハブ造および3階建て以上の建物を除いた11,263棟とした。ここで、建築年代区分の設定に関して、鈴木<sup>18)</sup>は住宅の変容の要因を、1)外からの影響（社会的状況の変化、技術の発達、外来文化との接触）、2)内からの要求（家族形態の変化、住要求・住意識の変化）、3)計画の力（法的規制などの人為的な変革）の3種に分類し、第二次大戦後の住宅の変容過程を次の3期に時代区分している。

- 1) 戦後復興期（1945～1955年）
- 2) 高度成長期（1955～1973年）
- 3) 低成長期（1973年～）

したがって建築年代区分を考える場合、基本的には上記の区分に従い、建築法規の改正は、耐震性に関する住宅の変容を左右する一つの要因として捉え、表-1に示す7区分を設定した。

図-5に分析結果を併せて示す。偏相関係数を見ると、建築年代、地震動強さ、建築面積、建物種類の順に大きい。また、面積比、屋根種類、階数の順に低い値を示した。範囲をみても建築年代が最も大きく、これより、層破壊発生の最大要因は建築年と位置づけられる。次にカテゴリースコアについて、白黒反転したカテゴリーは+側に大きな値を示した上位10項目で、灰色セルは-側に大きな値を示した10項目である。+側には、1960年以前の建築年代、70cm/sの地震動強さ、120m<sup>2</sup>以上の建築面積、共同住宅、農家住宅が挙げられた。-側には、1972年以

降の建築年代、70cm/s未満の地震動強さ、30 m<sup>2</sup>以上60 m<sup>2</sup>未満の建築面積、長屋住宅、1.2以上1.4未満の面積比、1階建、瓦屋根以外の屋根種類となっている。ここで、階数と屋根種類について、両者ともに偏相関係数は低いものの、カテゴリースコアでは、1階建建物および瓦屋根以外の屋根種類が一側に大きな値を示している。これより、これらは層破壊の発生率を小さくする要因と考えられる。建築面積については、村上<sup>10)</sup>は1階床面積と強軸方向、弱軸方向の補正壁率との検討を行っており、それによると建築面積の大きな建物は強軸方向の壁率が小さくなる傾向があり、そのため、建築面積が層破壊の発生に影響を与えたものとする。また、建物種類の中で、共同住宅と農家住宅のカテゴリースコアが+側に大きく、長屋建住宅は-側に大きくなっている。これは、農家住宅は建築面積が大きく、古い建物が多いため層破壊の発生率が高くなり、共同住宅は総2階に近い建物が多く、また各階の各戸に出入り口や窓を設けるなど、特に間口側の壁量が少なくなることにより+側に働いたものとする。

### (3) 建築年代別層破壊被害関数の構築

#### a) 構築方法

被害関数は、ある地震動強さ  $(x)$  に対して被害率  $R$  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、式[1]を用いて構築した。

$$P_R(x) = \Phi\left\{\frac{\ln(x) - \lambda}{\zeta}\right\} \quad [1]$$

ここで、 $\lambda$ ,  $\zeta$  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。また、地震動強さは、著者ら<sup>12)</sup>が層破壊の発生率と最大地表加速度 (PGA), 最大地表速度 (PGV), およびスペクトル強度 (SI) との相関を比較した結果, PGA に比較して相関が高く, SI に比較して簡便に求めることができる指標として PGV を採用した。被害関数を構築するにあたり, まず, 最大地表速度の大きさに応じて建物を並べ替え, 一定の単位に統合した。この時に, 各階級に含まれる建物棟数は原則として等しくなるようにした。各階級を代表する PGV の値は, 階級に含まれる建物の PGV の平均値である。また, 層破壊率は各階級に属する層破壊建物数を建物総数で除して算定している。なお, 対象エリアにおいて木質系プレハブ造には, 層破壊の発生が確認されていないため, 木造建物の層破壊被害関数はプレハブ造を除いた建物を対象とした。

#### b) 建築年代別層破壊被害関数

前述の数量化Ⅱ類による層破壊発生要因の影響度に関する検討の結果, 建築年代が最も寄与していた。そこで, 建築年代は建物の老朽化による性能低下や, 時代の変遷に伴う新構法や新材料の開発・普及, 建築基準や法規などの法制度の改正, あるいは住まい方に対するニーズの変化など, 耐震性能に直接あるいは間接的に影響を与えるものであり, 耐震性を表す総合的な指標として用いることができると考え, 木造建物の層破壊について建築年代別の被害関数を構築した。

表-2の赤太枠部分に各年代別の回帰係数の一覧を示す。1965年以降の比較的新しい年代における決定係数 $R^2$ が低くなっているが, これは新しい建物には層破壊の発生が少なかったことによるためである。

図-6に建築年代区分毎の被害関数を示す。図をみると, 建築年が古くなるに従い, 層破壊の発生率が高くなる傾向が見られるが, 戦後復興期 (1946-1955年) と高度成長期前期 (1956-1960年) の関係が逆転している。この理由として, 戦後復興期の建物は, 建設棟数が少なく, 屋根材に瓦を使用する割合が下がり, 2階建て建物の建設が減って相対的に平屋建ての建物が増えるなど特殊な建設事情であった時期であり, その影響が考えられる。

各被害曲線の立ち上がりを見ると, 層破壊が発生した PGV は, 戦前・戦中期の建物は約40cm/s, 戦後復興期から高度成長期に建設された建物は約50cm/s, 低成長期の建物は, 60cm/s程度である。

表-2 建築年代別層破壊被害関数の回帰係数

構造	用途	階数	屋根種	建築年代	データ数	PGV (cm/s)			
						$\lambda$	$\zeta$	$R^2$	
木造	全体	全体	全体	全体	11866	5.26	0.535	0.815	
				-1945	1306	4.72	0.380	0.879	
				1946-1955	604	4.97	0.420	0.668	
				1956-1960	913	4.94	0.402	0.747	
				1961-1964	1167	5.07	0.454	0.681	
				1965-1971	2233	5.31	0.551	0.607	
				1972-1981	3623	5.97	0.735	0.618	
				1982-1994	2020	7.36	1.135	0.634	
				全体	9782	5.21	0.527	0.829	
				-1945	1259	4.69	0.392	0.880	
				1946-1955	545	4.83	0.374	0.785	
				1956-1960	859	4.93	0.408	0.743	
		1961-1964	990	5.03	0.451	0.678			
		1965-1971	1776	5.24	0.537	0.620			
		1972-1981	3228	5.62	0.545	0.673			
		1982-1994	1125	6.52	0.814	0.797			
			2階建	全体	全体	10325	5.23	0.520	0.784
				瓦	全体	8744	5.18	0.511	0.802
	一戸建住宅	全体	全体	10455	5.30	0.533	0.790		
	共同住宅	全体	全体	789	4.91	0.508	0.745		
非木造			全体		3608	6.12	0.685	0.580	

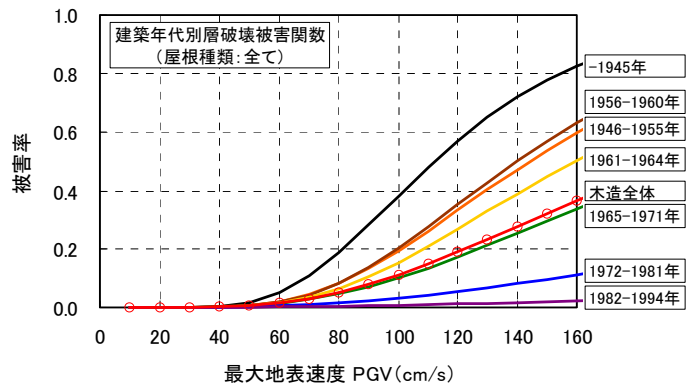


図-6 建築年代別層破壊被害関数

なお, 参考として, 同じ対象地域において, 同様の手法により求めた木造建物の階数, 屋根種別, 建物用途別の被害関数および非木造建物の回帰係数を表-2に併せて示す。

### 3. 層破壊被害関数の妥当性の確認

#### (1) 層破壊建物の推定方法

著者ら<sup>13)</sup>は, これまでに他の被害調査結果に基づいて作成された被害関数と比較することにより, 被害写真から構築した被害関数の妥当性を確認している。ここでは, 実際に阪神・淡路大震災における西宮市の層破壊の発生状況と被害関数を用いて推定した結果との比較を行い, 層破壊の面的な空間分布および建物1棟単位の発生分布に関して, 構築した被害関数の妥当性の確認を行った。使用した被害関数は, 建築年のみを考慮した表-2の赤太枠部分に示すものである。対象地域は被害関数を構築したエリア

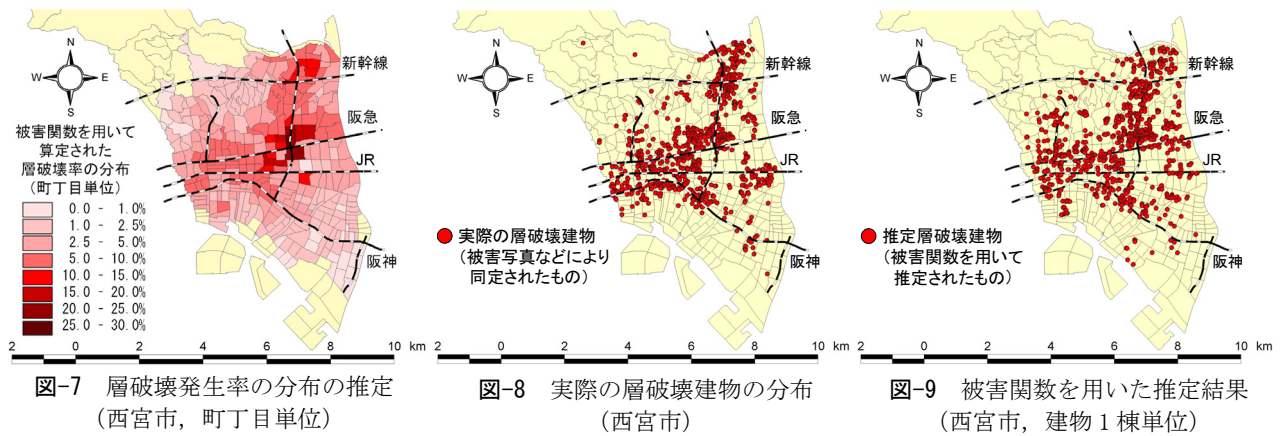


図-7 層破壊発生率の分布の推定  
(西宮市, 町丁目単位)

図-8 実際の層破壊建物の分布  
(西宮市)

図-9 被害関数を用いた推定結果  
(西宮市, 建物1棟単位)

と同じであり、図-4に示すエリアである。対象建物は建物属性および地震動データがリンクされた木造建物32,825棟のうち、プレハブ造を除いた32,266棟である。

推定は以下の手順により行った。手順1)から2)により、面的な空間分布として町丁目単位での層破壊発生率が求められる。また、手順3)から5)は建物1棟単位で層破壊発生の有無を推定するものである。

- 1) 1棟単位に入力されたPGVからそれぞれの建物について建築年代区分に対応した被害関数を用いて1棟毎に層破壊発生確率を算定する。
- 2) 町丁目単位で1)の層破壊発生確率の平均値を算出する。
- 3) さらに、町丁目単位で建築年代区分毎の層破壊発生確率を集計する。
- 4) 建築年代区分毎の層破壊発生確率にその町丁目に含まれる建築年代区分毎の建物棟数を乗じて、その町丁目における建築年代区分毎の層破壊発生棟数を推定する。
- 5) 建物1棟毎に算定された層破壊発生確率の高い建物が、その町丁目内の建築年代区分の中で相対的に層破壊発生の危険性が高い建物と仮定し、その上位から4)で求められた棟数までを層破壊が発生するものとして推定する。

## (2) 層破壊発生率の面的な空間分布

図-7に算定した町丁目単位の木造建物の層破壊発生率の分布を示す。また、図-8に被害写真などから実際に層破壊の発生を同定した建物分布を示す。図-7と図-8を比較すると町丁目単位の層破壊発生確率が高い地域に多くの層破壊が実際に発生している。また、層破壊の空間的な拡がりについて、実際の層破壊発生範囲を精度良く推定している。

## (3) 層破壊発生棟数の推定

次に西宮市南部地域における層破壊発生棟数の推定を行った。ここで、データベースの建物全てについて構造種別に関する情報が備わっているわけではないため、木造建物総数をまず求める必要がある。西宮市南部地域における建物総数は、GISのポリゴン数(家枠)によると83,258棟である。また、建物

情報が備わっている建物について木造建物の構成比を求めると、西宮市南部地域では、79.1%が木造建物である。この関係を用いて、町丁目毎に木造建物棟数を推定し、その棟数に層破壊発生率を乗じて層破壊発生棟数を算定した。その結果、総層破壊棟数は2,748棟と推定された。著者ら<sup>19)</sup>は西宮市南部地域において、震災復興都市づくり特別委員会<sup>20)</sup>による調査に基づく町丁目単位の全率率と被害写真などから同定した結果を用いた層破壊率との関係から、この地域における層破壊棟数の推定を行っている。その結果によると2,635棟~3,018棟と推定しており、今回の結果と整合している。

## (4) 1棟単位の層破壊建物分布の推定

被害関数を用いた面的な空間分布および総被害量としての層破壊建物棟数の推定は上記の検討結果から妥当であることを確認した。ここでは、建物1棟単位での推定精度について考察する。図-9に推定結果を示す。図-8と比較すると、実際に多くの層破壊が確認された地域において、推定結果も多く分布しており、また、地震動が比較的小さい地域においても層破壊の発生を精度良く推定している。詳細にみると、建物1棟1棟の発生位置が異なる場合がある。この要因として、用いた層破壊被害関数は建築年代のみを考慮したものであり、実際には建築年が古くても十分な耐震性能を保有し被害が発生していない建物が多く存在していたことによるものである。これは、表-2に示した屋根種別や階数別などの被害関数を用いることにより、ある程度の精度の向上が期待できるが、より推定精度の向上を図る必要がある場合には、例えば被害抑止を目的とした耐震補強の必要建物の抽出に用いるような場合には、建物1棟単位の耐力や変形特性などの耐震性能を直接的に評価可能な手法やより詳細な情報が必要となる。しかし、この推定分布図の使用目的を災害発生直後の対応のためのシミュレーション用の資料として用いるとすると、図-9が与える情報は図-7に比較して多く、より具体的な災害軽減計画を策定するのに役立つ。すなわち、大規模地震災害の発生頻度は低く、事前にシミュレーションにより対応力を強化しておくことが重要であり、例えば災害直後の人命救助活



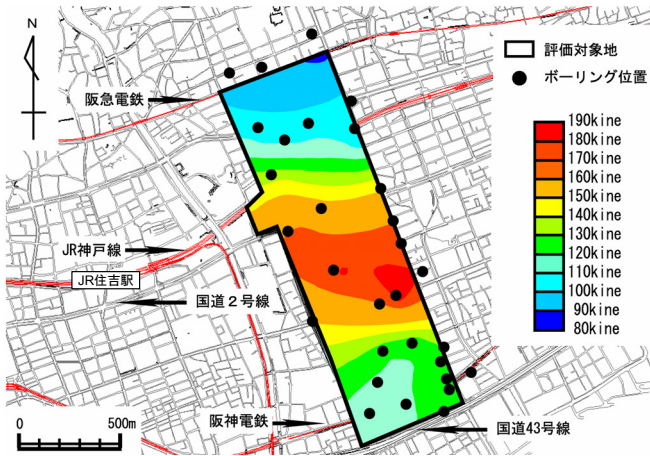


図-10 東灘区における検討対象地域と  
沖村ら<sup>21)</sup>による地震動分布解析結果

動の効率化、迅速化を考える場合に、どこにどの程度層破壊が発生しているのかという情報を与える図-9は実用面で十分有効であると考えられる。

#### 4. 兵庫県神戸市東灘区への適用

##### (1) 使用データ

前章では、西宮市で構築した層破壊被害関数を西宮市において適用し、その妥当性を確認したが、他地域に置いても適用可能かどうか検討する必要がある。しかし、すでに述べたように建物の層破壊に着目した調査は少なく、地域が限定されている。したがって、ここでは村上ら<sup>9)</sup>により被害調査が行われた図-10の神戸市東灘区西部地区を対象として被害関数を適用した。

層破壊建物データについて、村上らによる倒壊建物の定義は「1階部分の層崩壊、2階部分の層崩壊、全壊層崩壊（瓦礫状態）」としている。これは、図-1の被害パターンチャートのD5以上に対応していると仮定し、この倒壊建物を層破壊建物として使用した。

地震動データは、沖村ら<sup>21)</sup>がこの地区において行った地震動分布の推定結果を利用した。沖村らによる地震動分布解析は、松島、川瀬<sup>22)</sup>が震源モデルおよび深部地盤モデルとして三次元盆地構造モデルを構築して解析した大阪層群上面の地震波を、浅層地盤の増幅特性を考慮するため、地盤情報データベース「神戸JIBANKUN」<sup>23)</sup>に収録されているボーリングデータをもとに作成した浅層モデルに入力して、1次元等価線形解析により求めたものである。図-10に計算されたPGVの分布図を併せて示す。

##### (2) 層破壊建物の推定

図-11に村上ら<sup>9)</sup>による調査結果の集計図から判読した層破壊建物の分布を示す。また、図-12に前章と同様の手法により1棟単位で推定した層破壊建物を示す。建築年代別の被害関数を用いるにあたり、村上らは、建物の建築年を調査しており、その結果

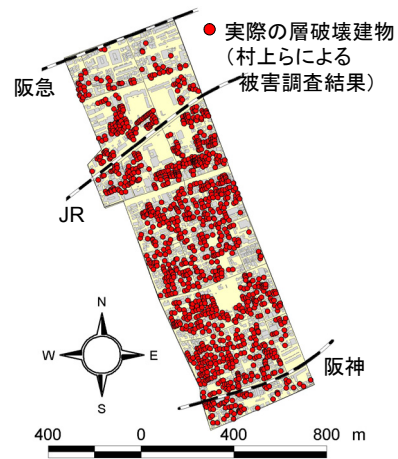


図-11 実際の層破壊建物の分布  
(東灘区) 注2)

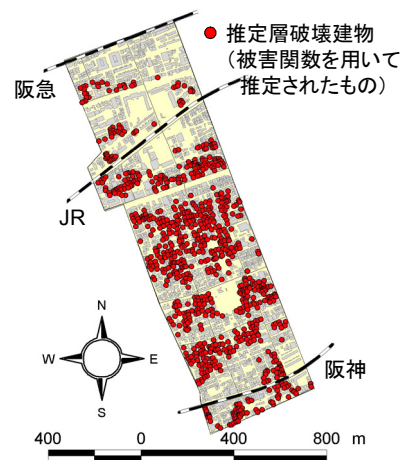


図-12 被害関数を用いた推定結果  
(東灘区) 注2)

は5区分に分類されている。本研究では、それぞれを以下のように被害関数と対応させて使用した。

- (1) 1948年以前 : 戦前・戦中期に対応
- (2) 1948年～1961年 : 高度成長期前期に対応
- (3) 1961年～1974年 : 高度成長期中期に対応
- (4) 1974年～1985年 : 低成長期前期に対応
- (5) 1985年以降 : 低成長期後期に対応

図-11と図-12を比較すると、地震動の比較的小さな地域における層破壊の発生や層破壊発生密集地域をよく表現しており、良い対応を示していることが分かる。前章と同様に建物1棟1棟の発生位置が異なる場合があるが、災害対応のためのシミュレーションとして使用するのであれば、推定結果は十分有効であると考えられる。ただし、層破壊棟数について、村上らによる結果を判読した実際の層破壊建物1,187棟であり、被害関数を用いた推定結果による層破壊建物は915棟と少ない。この要因として、西宮市の場合と地震動の推定方法が異なること、あるいは層破壊被害関数は建築年代のみを考慮したものであり、瓦屋根の使用の有無などその他の属性の影響などが考えられる。

## 5. まとめ

本研究では、阪神・淡路大震災時に撮影された被害写真から層破壊建物を同定し、木造建物を対象として建築年代を考慮して構築した層破壊被害関数を、兵庫県西宮市および神戸市東灘区へ適用し、その妥当性について検討を行った。その結果、人命救助活動のように、どこに効果的に限られた部隊を投入するかといった戦略を講じる上で、非常に有効なツールとなり得ることを確認した。ただし、今後の課題として、この被害関数は阪神・淡路大震災における西宮市の被害状況を元に統計的手法を用いて構築したものであり、今回の検討範囲では良好な結果が得られたが、他地域や他の地震災害への適用については、さらに建物の耐震性や地震特性の地域性を考慮する必要があると考えられる。また、人的被害を軽減するためには、まず層破壊のような被害を発生させない事が必要であり、そのためには既存建物の耐震診断、耐震補強の促進を図ることが不可欠である。一方、住民のニーズとしては、自分のすまいが地震に対して安全なのか、そうでないとすると、どのくらいの費用でどのように補強すればどの程度安全性が保証されるのかといった情報を欲しており、こうした情報を提供する上でも、これまでの検討結果に加え、被害推定精度の向上を図るために、力学モデルに基づいた層破壊発生メカニズムの究明を今後目指していきたい。

### 補注：

注1) 1959年の改正は12月23日から施行されており、1960年はその移行期となるため、1960年を区分境界に設定した。

注2) 図-11、図-12は震災復興都市づくり特別委員会が行った建物被災度判定結果を建築研究所<sup>24)</sup>が地理情報システム化を行った際に構築したポリゴンデータを利用し作成した。

### 参考文献

- 1) 西村明儒他：わが国の災害医療対策の新たな構築に向けての法医学的検討—わが国の災害医療体制の新たな構築に向けて—、厚生指針、42巻13号、1995。
- 2) 岡田成幸、鏡味洋史：震度による地震被害系統評価のためのバルナラピリティ関数群の構成、地震、第2輯第44巻、pp.93-108、1991。
- 3) 林康裕他：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集、No.502、pp.61-59、1997。
- 4) 長谷川浩一他：地域メッシュ統計を利用した広域での木造建築物群の震害予測—その2 建築年代別木造建築物の被害関数の作成と震害予測例—、日本建築学会構造系論文集、No.505、pp.53-59、1998。
- 5) 村尾修、山崎文雄：自治体の被害調査結果に基づく兵庫県南部地震の被害関数、日本建築学会構造系論文集、No.527、

- pp.189-196、2000。
- 6) 岡田成幸、高井伸雄：地震被害調査のための建物分類と破壊パターン、日本建築学会構造系論文集、No.524、pp.65-72、1999。
- 7) 高井伸雄、岡田成幸：地震被害調査のための鉄筋コンクリート造建物の破壊パターン分類、日本建築学会構造系論文集、No.549、pp.67-74、2001。
- 8) 岡田成幸他：木造住家の破壊パターンを用いた地震時死者推定法の提案、東濃地震科学研究所報告、Seq.No.7、地震防災分野、pp.77-84、2001。
- 9) 村上雅英他：東灘西部と中心とした被害調査とその考察、1995年兵庫県南部地震—木造建物の被害—、日本建築学会近畿支部、pp.49-68、1995。
- 10) 村上雅英他：阪神淡路大震災における木造住宅の倒壊原因に関する考察、日本建築学会構造系論文集、No.527、pp.189-196、2003。
- 11) 堀江啓他：地震による建築構造物の層破壊発生要因に関する研究、神戸大学大学院自然科学研究科紀要、第21号-B、pp.101-110、2003。
- 12) 沖村孝他：兵庫県南部地震における表層地盤震動特性と建築構造物の層破壊被害との関係、第38回地盤工学研究発表会講演概要集、pp.2059-2060、2003。
- 13) 堀江啓他：地震による木造建物の破壊状態を反映する被害関数の構築、地域安全学会論文集、No.5、2003。(印刷中)
- 14) 堀江啓他：災害における Built Environment データベースの構築と防災への活用、情報処理学会・人文科学とコンピュータシンポジウム論文集、pp.275-282、2001。
- 15) Kohiyama, M. et al.: Expansion of Nishinomiya Built Environment Database, Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards, Volume 29, Issue 3, pp. 501-522, 2003。
- 16) 佐藤忠信他：兵庫県南部地震で発生した強震域での加速度応答スペクトルの推定、土木学会論文集、No.563/ I -39、pp.149-159、1997。
- 17) Sekiguchi, H. et al.: 1996, Minute locating of faulting beneath Kobe and the waveform inversion of the source process during the 1995 Hyogo-ken Nanbu, Japan, earthquake using strong ground motion, J. Physics of the Earth, Vol. 44, pp. 473-487。
- 18) 鈴木成文：住まいを読む—現代日本住居論、建築資料研究社、1999。
- 19) 堀江啓他：阪神・淡路大震災における西宮市の層破壊建物棟数の推定、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、pp.11-12、2002。
- 20) 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。
- 21) 沖村孝他：神戸市域における木造構造物地震危険度評価に関する研究、第37回地盤工学研究発表会講演概要集、pp.2147-2148、2002。
- 22) 松島信一、川瀬博：1995年兵庫県南部地震の複数アスペリティモデルの提案とそれによる強震動シミュレーション日本建築学会構造系論文集、第534号、pp.33-40、2000。
- 23) 神戸市役所、建設工学研究所：神戸市地盤調査報告書、第7章、神戸地盤の地層構成、pp.7(1)-7(26)、1998。
- 24) 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。

(2003. 6. 30 受付)



## APPLICATION OF FRAGILITY FUNCTION FOR SEISMIC DAMAGE ASSESSMENT OF COMPLETELY COLLAPSED WOODEN BUILDINGS

Kei HORIE, Takashi OKIMURA, Nobuyuki TORII,  
Satoshi TANAKA, Norio MAKI and Haruo HAYASHI

To protect human lives from earthquake disaster is essential for disaster management. In the case of the 1995 Kobe earthquake, especially, the completely collapsed building without survival space was a major killer. Therefore, it is an important issue that revealing of how many buildings are facing to such risk and how to treat it. This paper deals with the fragility functions with consideration of the building characteristics. The distribution of completely collapsed wooden buildings due to Kobe earthquake is also reconstituted using the fragility functions. It will be a useful tool for the first responders to help locate the possible search and rescue area given a shaking intensity distribution.