

## リスク工学特別演習のグループ課題

『震災における建物被害 兵庫県南部地震から学んで』

水津大輔 渡邊智裕

### 1. はじめに

今回の課題では震災における建物の被害について調べた。

1995年の兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）では、全壊11万棟、半壊14万5千棟という建物の被害を受けた<sup>1)</sup>。特に耐震性の低い木造住宅に倒壊が集中し未曾有の人的被害を生んだ。震災による死者数は6,432人にのぼった<sup>1)</sup>。地震による直接の死者の内8割は建物倒壊によりもたらされたものと考えられる<sup>2)</sup>。冬の1月17日未明であったため、多くの人々が就寝中であり、耐震性に乏しい住宅が全壊あるいは半壊したり、家具類が転倒したことにより多くの人々が圧死した。

震災による建物倒壊は以下のような事態に波及する。

- 人的被害
- 火災
- 避難場所の確保・物不足
- 交通麻痺・ライフラインの寸断
- 財産の損失

このように建物の倒壊は、様々な被害・問題の原因となる。建物の倒壊を最小限に抑えることにより、地震による被害を最小限にすることができる。そのため震災に対する建物の重要性を知り、建物被害をより詳しく知る必要がある。

そこで始めに村尾の論文<sup>3), 4), 5)</sup>を読み、被害想定や建物倒壊危険度の算定に利用される建物被害関数について学んだ。次に震災が起きたときに大きな被害が予想される地域の一つ東京都墨田区を実際に歩いてまわり、潜在的危険性について見てきた。最後に自治体でおこなわれている簡易耐震診断について学び、実際に渡邊宅を診断してみた。その際、家の

中の危険性についても調べてみた。

### 2. 建物被害関数

災害に対する建物の重要性をより理解するために村尾の論文<sup>4)</sup>を読み、建物被害関数について学んだ。

建物被害関数は、対象地区の被害データと地震動分布から構築される。ある条件（構造・建築年代等）の建物がある強さの地震のときにどれぐらいの割合で被害を受けるかを表すものである。

1930年代から様々な震害の経験に基づき、建物被害関数あるいは建物被害率曲線（バルナビリティ関数、フラジリティカーブ）に関する研究がされてきた。しかし、建物被害関数のもとになるデータは限られていたため、その精度についての十分な確証は得られていなかった。兵庫県南部地震以後は、自治体などがおこなった建物被害調査により、多くのデータを得ることができるようになった。村尾らは、これらの建物被害データと推定された灘区の地震動分布を用いて建物被害関数を構築した。ここでは、その建物被害関数について述べる。

#### 2.1 灘区の被害概要

神戸市は、兵庫県南部地震において甚大な被害を受けた。建物被害関数構築に使用された被害データは、兵庫県南部地震後に神戸市によって実施された建築物被災度調査に基づくものである。調査項目は一棟ごとの町丁目、建築構造、建築日付、合計床面積、屋根、階層、被害である。約3万件の灘区建築物被害データベースが作成され、被害の分析が行われた。

表1は、各主要構造の建築年代別の建物被害棟数を示している。この被害データを構造別に見ると、全体の約4分の3を木造建築物が占め、次いで鉄筋コン

クリート造（RC造）、鉄骨造（S造）、軽量鉄骨造（軽量S造）が全体のほぼ残りを占めている。図1は、建物の構造別被害率である。全壊率、全半壊率ともに、木造がもっとも高くなっており、次いで、S造、軽量S造、RC造順に低くなっていく。このように、木造の建物が一番地震に弱いことがわかる。木造の年代別(図2)で見ると、年代が新しくなるほど全壊率、全半壊率が低くなっている。他の構造の建物についても同様のことが言える。

表1 灘区の建物被害データ<sup>4)</sup>

構造	建築年代	全壊	半壊	その他	計
木造	-1951	5,032	1,636	1,138	7,806
	1952-61	2,897	936	992	4,825
	1962-71	2,588	928	1,126	4,642
	1972-81	1,006	764	1,218	2,988
	1982-94	384	542	1,523	2,449
	計	11,907	4,806	5,997	22,710
RC造	-1951	10	5	18	33
	1952-61	30	27	125	182
	1962-71	131	123	623	877
	1972-81	126	224	906	1,256
	1982-94	57	153	1,256	1,466
	計	354	532	2,928	3,814
S造	-1951	2	1	32	35
	1952-61	11	9	121	141
	1962-71	227	92	145	464
	1972-81	185	157	288	630
	1982-94	107	203	593	903
	計	532	462	1,179	2,173
軽量S造	-1971	221	77	245	543
	1972-81	25	39	231	295
	1982-94	26	48	389	463
	計	272	164	865	1,301
その他		133	89	324	546
全建物		13,198	6,053	11,293	30,544

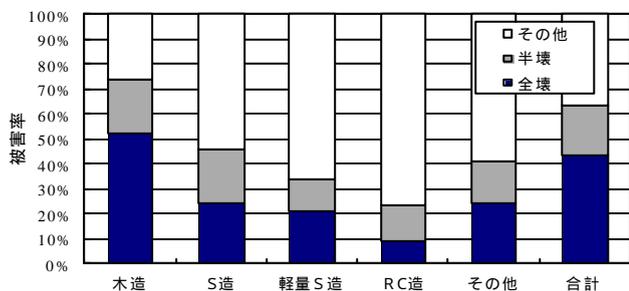


図1 建築物の構造別被害率<sup>4)</sup>

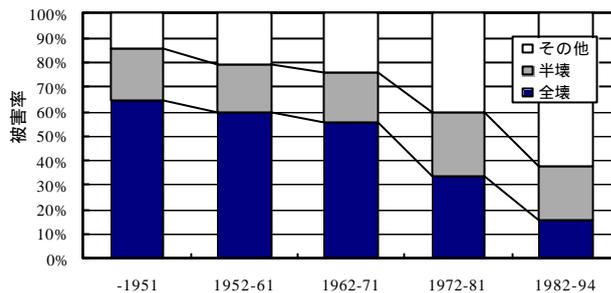


図2 建築物の年代別被害率<sup>4)</sup>

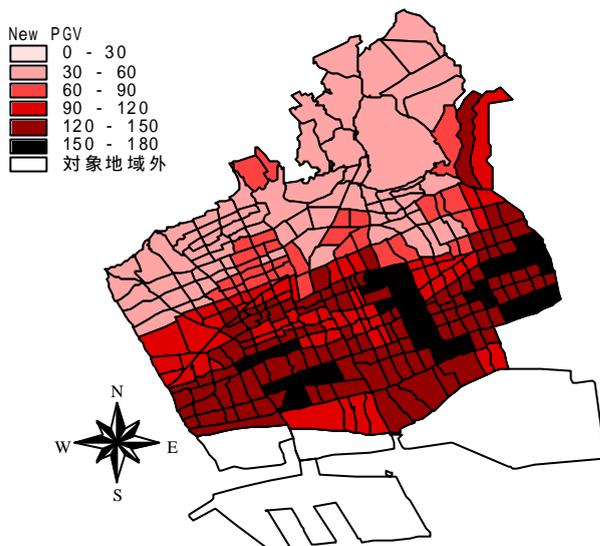


図3 灘区における推定地震動<sup>4)</sup>

## 2.2 建物被害関数の構築

被害率と推定された地震動(最大速度: PGV)(図3)との関係から建物被害推定式が求められる。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 $(x)$ を用いて、対数正規分布で表せると仮定すると、

$$P_R(PGV) = \left( \frac{\ln PGV - \mu}{\sigma} \right)$$

となる。ここで係数 $\mu$ 、 $\sigma$ は、 $\ln x$ の平均値および標準偏差である。 $\mu$ 、 $\sigma$ は、図4のようなグラフから回帰直線を求めることで、求められる。求められた回帰直線は、構造・年代ともに概ね相関が高くなっている。

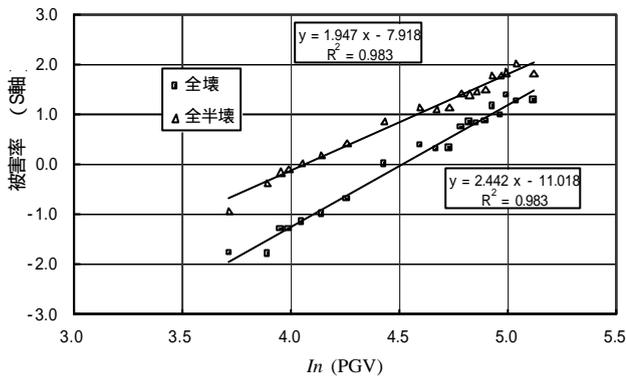


図4 PGVと木造建物被害率の関係<sup>4)</sup>

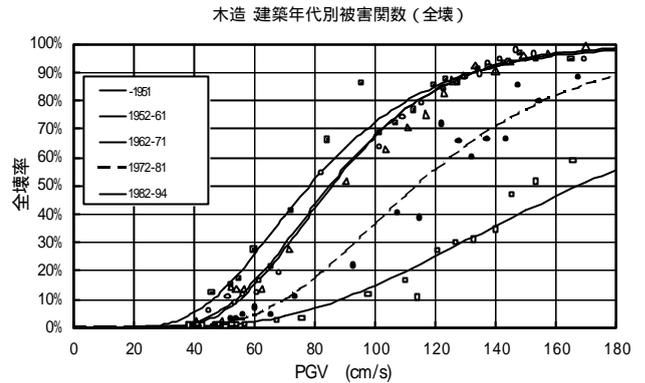


図7 木造の建築年代別被害関数 (全壊率)<sup>4)</sup>

構造別の被害関数は、図5、図6のように表される。図7は木造の建築年代別被害関数である。

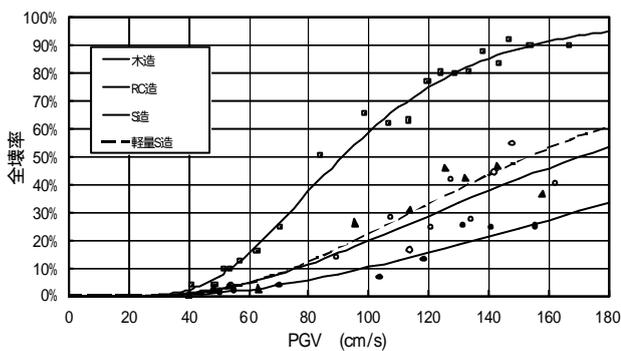


図5 構造別建物被害関数 (全壊率)<sup>4)</sup>

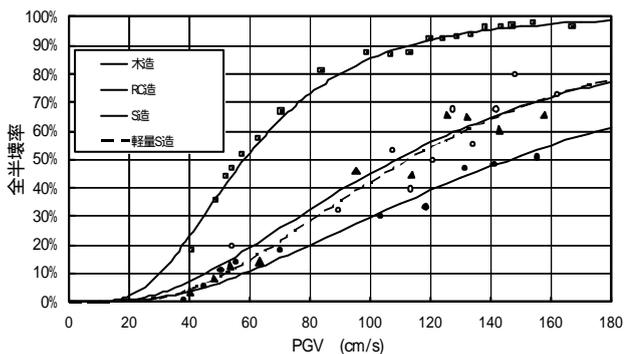


図6 構造別建物被害関数 (全半壊率)<sup>4)</sup>

構築された被害関数を見てみると、木造の被害率は他の構造のものに比べて、PGVがだいぶ小さいところで高くなっている。木造の耐震性の弱さがあらわされている。

### 3. 現地調査 (東京都墨田区)

兵庫県南部地震で被害が大きかった地区に神戸市の長田区がある。この地区は開発が進んでおらず、いわゆる下町で木造住宅が密集しており道路が整備されていなかったため地震発生時の建物倒壊率が高く、地震後の二次的な火災被害も大きなものとなった。長田区と共通点が多い地域として木造密集地域の多い古い町並みが残る東京の墨田区が挙げられる。

今回、災害に対して潜在的リスクの高い墨田区(図8)について代表的な東白鬚(堤通)地区、東向島地区、墨田地区を調べ<sup>6)</sup>、そのあと実際に墨田区を歩いて回って災害に対する危険度を認識した。



図8 墨田区の略図

### 白鬚東（堤通）地区

1969年の東京都の江東再開発計画に基づいて開発が進められ、江東地区防災拠点の指定を受けている地域である。

白鬚団地西側の隅田川沿いに広がる東白鬚公園（写真1）は、燃えにくい常緑樹を中心に緑豊かな公園であり、消化池、救援物資倉庫、災害対応公衆トイレを備えており大震災や火災が起きた際の避難場所となる。防災拠点として13階建ての都営白鬚団地（写真2）がある。この白鬚団地は10棟全てが横につながり合わせて建設されており、団地東側に広がる住宅密集地域で起きた火災を避難場所である東白鬚公園へ延焼させない防火壁の役割をしている。



写真1 東白鬚公園



写真2 都営白鬚団地

### 東向島地区、墨田地区

関東大震災や東京大空襲でも被害を受けず、路地を挟んだ家並みが下町の風情をとどめている地域である。特に東向島地区は開発がほとんどされておらず木造住宅が密集しており（写真3）路地も狭く、潜在的災害危険度が非常に高い。そのため、住民の防災意識は非常に高く、避難場所が整備されており、『一寺言問を防災のまちにする会』によって考え出された路地尊（雨水貯留槽）（写真4）がある。

東向島地区は多くの古い木造住宅が存在する。多くの住宅が二階建て以上であり、1mもない間隔で建てられていた。住宅は全体的に古く増築、改築したものが目に付いた。



写真3 密集した古い木造住宅



写真4 路地尊

路地尊とは路地の安全を守るシンボルのことである。雨水を利用して災害時の水源を確保しており、地域の生活用水としても使われている<sup>6)</sup>。

路地尊を見てまわったが、どれも消防車や大型車の入ることのできない路地の奥や隅にあり、どの路地尊も地域生活に溶け込んでいる感じがした。また災害避難場所が路地尊の周辺にあり災害に対する意識が高いのを感じた。

実際に墨田区を歩いてみて災害に対して潜在的リスクが高いことを認識した。

墨田区は、木造住宅が密集して存在し、狭い道路も多く、潜在的危険性が高い。そのため国や住民の災害に対する危機意識はきわめて高く、都市計画や行政指導、路地尊や避難場所の整備などさまざまな試みがなされてきた。しかし根本的な問題は建物倒壊率が極めて高い建築年代の古い木造住宅が密集していることであって、その問題は未だ解決していない。

都営白鬚団地は防災施設（防火壁、避難場所）としては非常に高いレベルにあるが、それは単体としてみた評価であり、墨田区の地域全体でみるとまくりンクしていない。この施設は小規模の災害に対しての設備ではなく、基本的に大震災に対してのものである。兵庫県南部地震規模の大震災が起きた場合、住宅密集地である東向島地区、墨田地区は、木造住宅が多く密集しているためほとんどの建物が倒壊し、崩れた建物による2次的倒壊、延焼、道路の寸断が起これると考えられる。震災後助かった住民は二次被害を避けるために迅速に避難する必要があるが、避難路の整備されていない狭い小道の多い住宅密集地域、特に中心部の住民が迅速に避難できるか疑問である。

東向島地区、墨田区は小規模の災害（火災、地震）には避難施設や路地尊は効果を発揮するが、大震災時にはこの地域は壊滅状態になると思われる。

震災後の消火活動、救出活動は消防車や大型機械が通ることのできないこの地域では難しいと予想される。

#### 4. 耐震診断と家の中の危険

兵庫県南部地震では、たくさんの人が犠牲になった。そのうちの約8割が建物倒壊により、圧死または窒息死でほぼ即死状態だったと見られている。救出が早ければ命が助かったと思える人は極めて少数だったといえる。よって、建物の耐震性を知り、強い建物にすることが必要となっている。現在、多くの自治体、団地で建物の耐震診断が行われるようになってきている。

簡易耐震診断は、木造住宅を対象として、過去の地震被害・耐震研究の成果・建築基準法の耐震規定をもとに作成されている<sup>7)</sup>。今住んでいる住宅やこれから建てようとする住宅が地震に対して安全かどうか知りたいとき、その目安が得られるようにつくられている。専門的な知識がなくても、診断できるようになっている。

この診断は、A地盤・基礎、B建物の形、C壁の配置、D筋かい、E壁の量、F老朽度の6つの項目について評価し、それぞれの得点を掛け合わせた結果によって、耐震性が判定される。簡易耐震診断とはどういうものなのかを理解するため、実際の住宅に適用してみた。また、家の中でどのような危険があるのかについても考える。



写真5 家の外観

今回、簡易耐震診断を適用したのは、渡邊の実家（築14年、所在地 明野町）（写真5）である。

診断結果は、図9<sup>8)</sup>のようになった。判定結果を見ると、やや危険であると判定である。項目ごとにしてみると、建物の形、壁の量、老朽度で、低い評価になっている。壁の量については、必要な壁の4分の3しかないため、特に低い評価になっている。この家は、瓦屋根の2階建てということで、1階の壁の量を割と多目にしなくてはならないはずである。しかし、2間続きの和室（写真6）や台所・食堂・居間が一続き（写真7）になっていることから、壁の量が不足してしまったと考えられる。耐震診断を行うことで住宅の耐震性に問題がある点を見つけることができた。



写真6 屋内1



図7 屋内2

次に家の中では震災が起きたときにどのような危険があるかを考えてみた。

- 大きな家具（タンス、本棚、冷蔵庫など）の転倒・移動
- 吊り下げ式の電灯や高所に置いてある物の落下
- 窓ガラスなどの散乱
- 停電
- ストープ等の暖房器具の転倒
- ガスコンロなどからの引火
- ガス管の破損によるガス漏れ
- ドアや戸の歪みによる閉じ込め
- 電化製品の破損・漏電により火災

このような危険をふまえて家の中の危険な場所を探してみた。写真8は、寝室である。兵庫県南部地震がおきた時、多くの人が就寝中であり、多くの被害を受けたことを考えると寝室の安全性に気を配る必要があるだろう。ベッドに向かって倒れてくるような家具は特にない。しかし、ベッドが窓の下にあるために、地震の時に窓ガラスが割れるようなことがあると、睡眠中は破片をよけることができず危険である。写真9は、食堂である。テーブルのすぐ後ろに、食器棚がおいてある。地震の時、倒れてくる危険性があり、観音開きであるため中の食器が飛び出しやすく危険である。

特に危険と感じないで何気なく生活していた住宅について、耐震診断をおこなったり、危険な箇所をさがしたりしてみると、家の弱点や危険性を見つけだすことができた。簡易耐震診断は、家庭の防災意識向上のために役に立つであろう。耐震診断をすることで家の潜在的危険性を把握することができ、必要があれば専門家の判断を仰いでその家ごとの防災計画を立てることができる。



写真8 寝室



写真9 食堂

を評価する建物被害関数について学んだ。そして震災が起きたときに大きな被害が予想される地域の1つ東京都墨田区を実際に歩いてまわり、潜在的危険性について知った。最後に自治体でおこなわれている簡易耐震診断について学び、実際に渡邊宅を診断し、家の中の危険性について調べ、一般の住宅の地震に対する危険性を知った。

今回のグループ課題でリスク工学という立場で必要なことを多く学んだ。各自が学んだことを生かしていければ良いと思う。

#### 参考文献

- 1) 消防庁：阪神・淡路大震災について(第105報), 2000.12
- 2) 国土交通省  
<http://www.mlit.go.jp/>
- 3) 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, 日本建築学会, No. 515, 187-194, 1999.1
- 4) 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建物被害関数, 日本建築学会構造系論文集, 日本建築学会, No. 527, 189-196, 2000.1
- 5) 村尾修, 田中宏幸, 山崎文雄, 若松加寿江：兵庫県南部地震の被害データに基づく建物倒壊危険度評価法の提案, 日本建築学会構造系論文集, 日本建築学会, No. 527, 197-204, 2000.1
- 6) 墨田区：墨田区役所のホームページ  
<http://www.city.sumida.tokyo.jp>
- 7) 日本建築士事務所連合会  
<http://www.njr.or.jp/top.html>
- 8) 国土交通省：我が家の耐震診断と補強

#### 5.まとめ

リスク工学特別演習のグループ課題を通じて震災に対する建物の重要性を知り、震災に対して建物

