

地震に対する建築物の安全性に関する
社会工学的研究

—阪神・淡路大震災の被害分析—

1996年 2月

名古屋大学大学院 工学研究科建築学専攻

大平 久司

目次

第1章	はじめに	1
1.1	研究の背景	1
1.2	研究の目的	8
第2章	建築構造関連規準類の問題点	9
2.1	地震力の側面から見た建築構造基準の変遷	9
2.2	建築基準法における法の不遡及の原則と耐震規定に関わる問題点	13
2.3	非構造部材に関わる耐震規定とその問題点	15
2.4	ロサンゼルス市の地震時のインスペクション制度	18
2.5	まとめ	23
第3章	阪神・淡路大震災による死亡リスク	24
3.1	死亡リスクのマクロ分析	24
3.2	賃貸住宅における死亡リスク	31
3.3	まとめ	34
第4章	阪神・淡路大震災による高層集合住宅における 住戸扉の開閉障害と出火	35
4.1	高層集合住宅の住戸扉の開閉障害によるリスクの分析	35
4.2	高層集合住宅の住戸扉の開閉障害に関する調査	38
4.3	集合住宅の出火状況に関する調査	47
4.4	火災の発生した集合住宅におけるアンケート調査	49
4.5	まとめ	52

第5章	ロサンゼルス市のインスペクション制度と ノースリッジ地震の被害分析	53
5.1	ロサンゼルス市における地震被害とレトロフィット	53
5.2	ノースリッジ地震の被害分析	55
5.3	まとめ	59
第6章	まとめ	60
6.1	まとめ	60
6.2	今後の課題	62
謝辞		64
参考文献		65

論文の構成

本論文の構成を図0.1に示す。

第1章では、研究の背景と目的、方法について述べる。

第2章では、建築物の耐震安全性に関わる法令、規準類についてまとめ、「既存不適格建築物」の存在や非構造部材の耐震安全性といった、現行規準の技術的側面以外からの問題点を明らかにする。

第3章では、阪神・淡路大震災による死亡リスクの構造の分析を行い、第2章で示した「既存不適格建築物」の存在によって死亡リスクがどの程度高くなったか、また、なぜ高くなったかを検討する。

第4章では、阪神・淡路大震災による高層集合住宅の住戸扉の開閉障害に関する調査結果の分析を行い、第2章で示した非構造部材の耐震安全性の問題について、どの程度考慮すべきかを検討する。

第5章では、ロサンゼルス市における地震時のインスペクション制度の紹介とそれに基づくノースリッジ地震の被害分析を行い、地震時のインスペクションの目的を明らかにし、レトロフィット（耐震補強）の有効性を検証する。

第6章では、研究のまとめと、都市地震防災、建築物の耐震安全性を考える上での今後の課題を提示する。

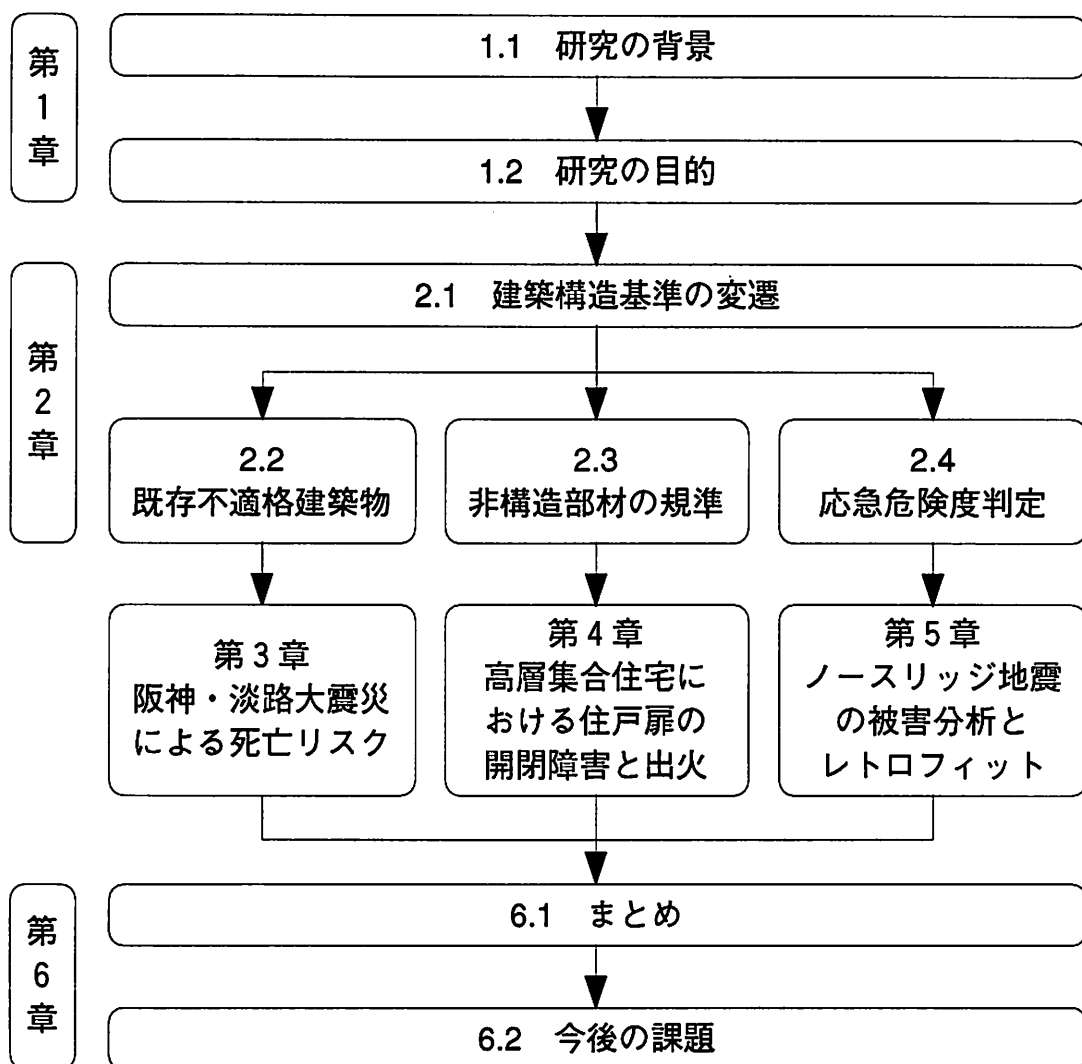


図0.1 本論文の構成

第1章

はじめに

この章では、本研究の背景と目的について述べる。

1.1 研究の背景

1.1.1 阪神・淡路大震災による被害

1995年1月17日午前5時46分に淡路島北東沖3kmの海底地下20kmを中心として発生したマグニチュード7.2の地震である「平成7年兵庫県南部地震」は、神戸市、芦屋市、西宮市、宝塚市、淡路島北部で震度7を記録し、その被害や影響の大きさから「阪神・淡路大震災」と呼ばれるようになった。この阪神・淡路大震災では、236,581棟の家屋が倒壊、7,474棟が焼失し、38,495人もの負傷者とともに、5,502人もの死者が発生した³⁹⁾（その後、震災関連死と認定された人も含めると、1996年1月10日現在で6,308人）。その被害総額は、兵庫県内だけでも9兆9268億円にものぼった。この阪神・淡路大震災は、1959年に発生した伊勢湾台風による死者・不明5,098人を越す、戦後最大の災害となった。地震によりこれほど多くの死者が発生した例は、3,769人の死者が発生した1948年の福井地震までさかのぼらなければならない。今世

紀の地震としては、1923年の関東大震災による死者・不明14万人以上に次ぐ被害であった。福井地震以降、多数の死亡者の発生した地震がなかったことによって、建設技術の向上によって地震被害が小さくなったかの印象を世間に与えてしまっていた。しかし阪神・淡路大震災によって、老朽木造住宅やマンションなどの建築物、高速道路や新幹線の高架などが多数倒壊し、建築構造物や土木構造物に対する「安全神話」は大きく揺らいだ。これらは、技術的、法的には起こりうる被害だったにもかかわらず、その直接の被害や波及した影響の大きさにより、社会に与えた影響は大きかった。

阪神・淡路大震災では、宮城県沖地震後の1981年に施行された、いわゆる「新耐震設計法」により建設された建築物の構造的な耐震性がある程度確認されるとともに、一方で、特に1971年の建築基準法施行令改正以前の建築物においては、過去の地震被害と同様の構造的被害が発生した。「法の不遡及」の原則によって、新しい基準の適用を受けない「既存不適格建築物」は、関西地区での大地震の発生が予測されていなかったこともあって、耐震改修・更新がほとんど進められてこなかった。その結果、多数の建物が倒壊し、多くの死傷者が発生した。

一方、今回の地震においては、扉の開閉障害やスプリンクラーヘッドの破損など、非構造部材の被害が多数発生している。「新耐震設計法」では、「中地震時には建物の機能を保持し、大地震時には人命を守る」という原則がある。中地震時に非構造部材の変形、脱落を防止する観点から、層間変形角を1/200（または1/120）以内とすることが定められているが、大地震時における非構造部材の耐震性に対する具体的な基準はなく、結果として防災設備を含む非構造部材の破損につながった。幸い地震の発生が早朝でほとんど火気が使われていなかったこともあり、高層建築物において防災設備の故障によって火災の発生・拡大を抑止できないという事態は発生しなかったが、火気を使う昼間時に地震が発生していたら、防災設備の故障による火災の拡大や扉の開放不能による室内での焼死の可能性が大きくなっていたかもしれない。

地震の被害を未然に防ぐ対策と同時に、実際に地震が発生した後に被害を最小限に食い止める対策を考えておく必要がある。また、発生した地震被害を分析し、今後の都市地震防災に役立てていかなければならない。兵庫県南部地震発生後、被災した建築物による2次災害を防止するために、神戸市、芦屋市、西宮市、宝塚市、尼崎市、伊丹市、川西市、明石市、そして淡路地区で、応急危険度判定が行われた。日本で応急危険度判定が本格的に行われたのは今回が初めてであった。海外では、同じく有数の地震地帯であるカリフォルニア州のロサンゼルス市において、建

物に対する地震時のインスペクション（検査）制度があり、1994年1月17日に発生したノースリッジ地震において成果を収めている。また、このインスペクションの結果から、問題があると判断される構造や建物に対するレトロフィット（既存建物の耐震補強）が行われている。

これらの背景から、今後の地震対策を考える上では、これまで構造基準に偏っていた耐震安全性の問題を、既存不適格建築物の問題や、非構造部材に要求される耐震性、応急危険度判定など、各側面から検証し、有効な対策を考えなければならない。

1.1.2 社会工学的研究の必要性

では、今後、実際に建築物の耐震安全性を高めるためにはどういった対策を進めていけば良いであろうか。このことを考えるために、まず、建築物の安全性に関わる歴史について簡単にまとめておく。建築物の起源は、外的要因に対する安全性を確保するという、シェルターとしての建築物であった。日本では、明治時代に入ってから、都市大火を克服するために、また衛生を確保するために、建築物に対する規制が行われるようになった。1891年の濃尾地震を契機に、建築物に対する耐震安全性の要求が高まり、また、1923年の関東大地震では、多数の建築物の被害と、それに伴う社会的混乱が発生したため、法令で構造基準を定めることによって建築物に対する耐震安全性を確保することとなった。そして現在に至るまで、技術の進歩や地震被害の教訓を活かし、技術と規制という2つの柱で安全性能が高められてきた。その結果、1981年に施行されたいわゆる「新耐震設計法」によって建設された建築物については、阪神・淡路大震災でも小さな被害にとどまった。

次に、工学的側面と社会学的側面からの地震防災研究の方法のそれぞれの問題点について検討する。従来の工学的な建物被害調査の方法では、建物がなぜ壊れたかについては調査されているが、どんな建物で死んだか、壊れたことによって何人死んだか、どうして建物の中で死んだか、ということについては調査されてこなかった。また、社会学的調査として各種の死亡者統計が明らかにされているが、人口や建物数などといった被害率のベースとなる数字が示されていないため、実際に、ある建物に住んでいた人に対してどの程度のリスクがあったかということが明らかではなく、現実的な対策として何をすればよいか示すことができなかった。阪神・淡路大震災におけるこれらの調査では、既存不適格建築物や老朽建築物に住んでいた人や社会的立場が弱い人に死亡が集中したとされているが、建物被害と死亡者発生との関係を示すような調査は、見当たらない。しかし、今後の対策を考える上では、ある種類の建物に住んでいた人の死亡リスクがどの程度だったかを明らかにする必要がある、そのためには、ミクロな視点から工学的な建物被害調査と死亡者発生状況を結びつけて分析していかなければならない。図1.1で示すように、これらの被害分析結果から、従来の工学的な「建物が壊れないこと」、あるいは、社会学的な「人が死なないこと、また、財産・機能を維持できること」といった判断基準から、新しい判断基準を作り出していかなければならない。

このように工学的側面からの分析と社会学的側面からの分析を有機的に結びつけ、より合理的な判断材料を提供し、さらに実際にどんな対策を行っていくか検討する手法を本研究では社会工学的研究と定義する。

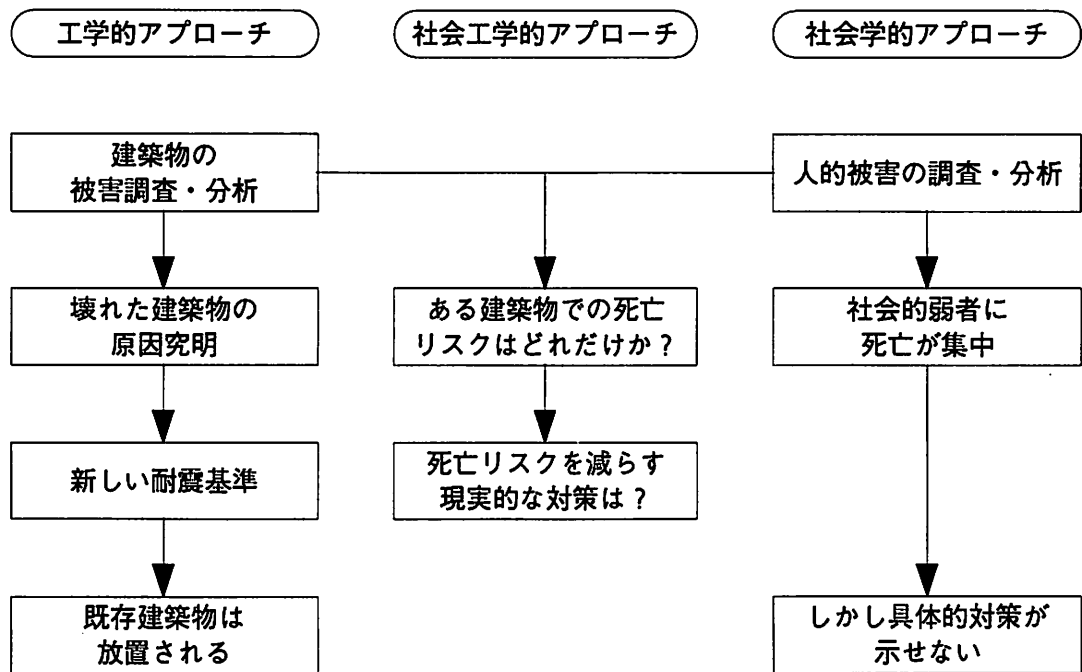


図1.1 社会工学的アプローチ

1.1.3 建築物の地震に対する安全性に関する社会工学的な研究方法

図1.2で示すように、地震による被害に対する課題としては、被害を受けた地域をどう復旧・復興していくかという課題と、この被害を教訓として、今後同様の地震被害が予測される地域においてどのような対策を行っていくかという課題がある。このうち、被害を受けた地域で実際にどう復旧・復興を進めていくかという課題は、法的、行政的、経済的、工学的問題などさまざまな問題が複雑に絡み合った問題であり、社会工学的な地震防災研究としても重要なテーマであるが、本研究では取り上げない。本研究では、実際に発生した地震被害の教訓を生かし、今後同様の地震被害が予測される地域において、どのような対策をしていけばよいか、という点に絞って論じる。

今後の対策を考える上では、地震によって被害が発生した原因を、技術的側面からだけでなく、法や制度といった社会的側面からも検討する必要がある。これまでの地震対策がどの程度有効であったか、また、これまで想定されてこなかったような被害はあったか、などについて、工学的側面、法制度面からの検討を行い、地震被害予測に必要な知見を得る。これを今後同様の地震発生が予想される地域の被害予測に適用し、どの程度の被害が発生するか、その対策としてどんな技術的、制度的な方法があるか、を検討する。これまでに実行されてきた対策も含めて、各対策の効果を比較し、どういった対策が有効か、また、どういった対策が急がれるか、を明らかにする。これらの対策を実際に行うためには、法律によって、社会全体が要求する最低限の安全性を確保するような対策を進めなければならなくなる。

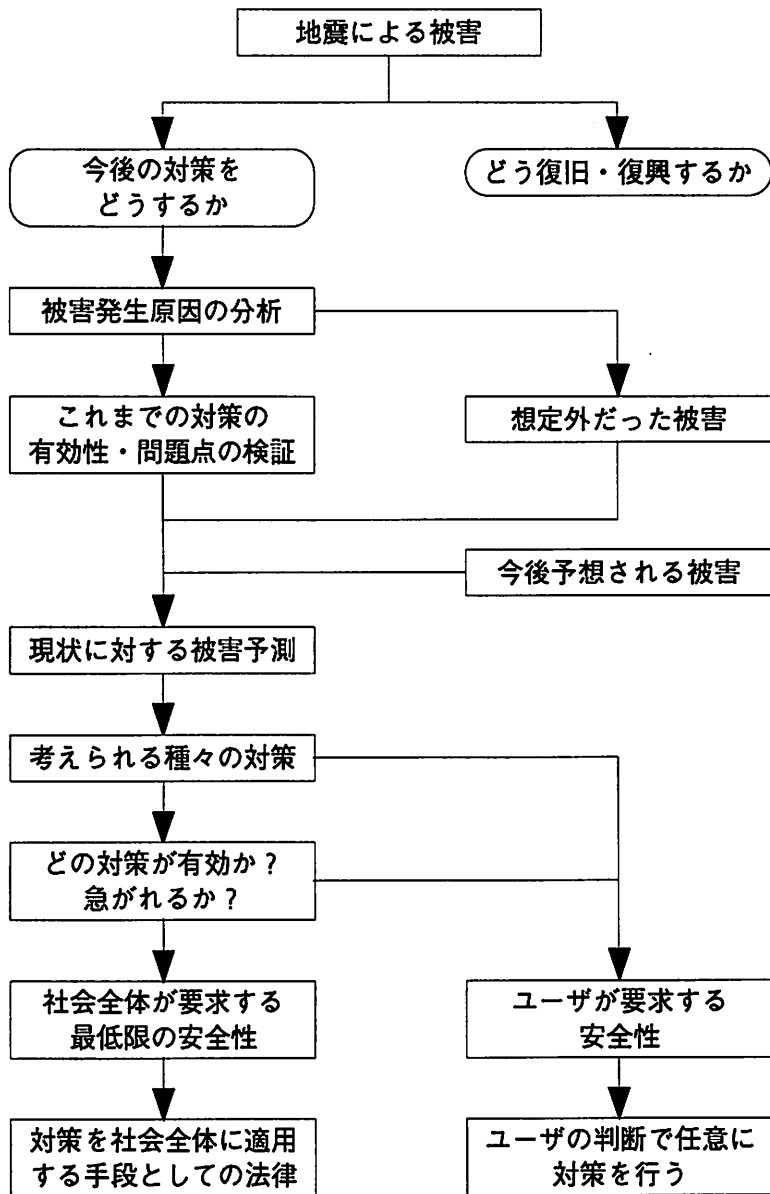


図1.2 社会工学的な地震防災研究

1.2 研究の目的

本研究では、阪神・淡路大震災で多数の死亡者が発生したことから、どんな教訓を得て今後の対策を進めていけばよいかを検討する。まず、多数の死亡者が発生した原因を分析し、現行の耐震設計法がどの程度有効であったか、既存不適格建築物によってどの程度の死亡リスクがあったか、また、室内で出火し扉が開かず避難できずに焼死する、といったような構造設計の想定外の被害で、どの程度の死亡リスクがあったかを明らかにする。これをもとに、社会全体が要求するような最低限の安全性として、大地震時における人命の安全を目標とするとき、どんな対策をすればよいかを提案する。

まず、第2章では、建築物の耐震安全性に関わる法律や規準類を分析し、特に既存不適格建築物の問題に代表されるような、技術的側面以外からの問題点を明らかにする。

第3章では、阪神・淡路大震災における死亡リスクに注目し、多数の死亡者が発生した原因を分析する。特に、その耐震性が社会性を持つ賃貸集合住宅について、その死亡リスクの構造を詳細に分析し、どのような対策をすべきか検討する。

第4章では、阪神・淡路大震災で発生した、高層集合住宅の住戸扉の開閉障害と地震直後の出火率について調査し、「地震直後に室内で火災が発生し、扉が開かずに室外に避難できず焼死する」リスクがどの程度かを明らかにし、このリスクを設計条件としてどの程度考慮すべきか検討する。

第5章では、一般に公開されているインスペクション結果を用いて、ノースリッジ地震の被害分析を行い、インスペクション制度の有効性を検証する。

まとめとして、以上の成果をもとに、今後、都市や建築物において社会的な耐震安全性を確保するために行うべき対策を検討する。

第2章

建築構造関連規準類の問題点

この章では、既存不適格建築物の問題や、非構造部材の耐震安全性など、現行の建築構造基準、規準類のもつ問題点について分析する。

2.1 地震力の側面から見た建築構造基準の変遷²⁾

地震力に対する建築構造基準の変遷から、地震に対する構造設計の考え方について示す。

2.1.1 建築基準法成立まで

構造物に作用する地震力について「震度」という概念が初めて示されたのは、1914年に佐野利器が発表した「家屋耐震構造論」である。震度とは、構造物に作用する慣性力である地震力の大きさを、その作用加速度の重力加速度に対する比率で表そうとするものである。地震力は、構造物の重量に震度を乗ずることで得られる。佐野はこの論文の中で、東京下町の予期震度を0.3としていた。

市街地の防火、不燃化の推進と、海外からの鉄筋コンクリート造や鉄骨造の導入を機に建築法令制定の気運が高まり、1920年には市街地建築物法令および同施行令が施行されたが、この中では耐震構造計算の規定はなかった。しかし、1923年の関東大地震により建築物に大きな被害が発生したことから、市街地建築物法施行規則の構造規定は、建築物の耐震性確保のために大改正され、1924年に施行された。この中ではじめて、強度計算規定に水平震度0.1以上という地震力の規定が導入された。この0.1という値については、東京における関東大地震の最大地動加速度が水平震度で表すと0.3程度であったことから、許容応力度における材料安全率が約3程度であるならば、外力としては地震力の水平震度を0.1以上とすればよい、という判断によるものである。このことから、水平震度0.1以上という規定は関東大地震クラスの大きな地震に対して建築物が倒壊せず、安全が確保できることを目標としていたと判断される。ただし、将来起こる地震の推定震度については、明確ではなかった。

その後、1934年の室戸台風で、暴風による木造校舎の被害が大きかったことから、日本建築学会によって木造校舎の構造研究が進められ、従来の市街地建築物法施行規則の持つ問題点が明らかになった。大きな材料安全率に依存して、荷重外力を小さくする従来の評価体系では、各種の荷重外力を同時に受ける部材は、地震力や風圧力のような外力のいずれか一つが極度に大きくなった場合に、各部材の終局的安全性の程度が大きく異なり、こうした際に建築物の構造被害が発生すると考えられた。

上記の問題を解消するためには、荷重外力値は予想する大きなものとして、材料安全率は小さく、許容応力度を大きくとる、いわゆる終局強度型の計算体系をとることであると考えられた。この考えをもとに、1947年には日本建築規格建築三〇〇一(JES3001)が制定された。JES3001では、荷重外力と許容応力度の両者に長期および短期の概念が導入された。短期許容応力度は従来の2倍で、材料の弾性限度か降

表2.1 建築基準法までの設計用地震力と安全率の変遷

施行年	法令	地震力(震度)	許容応力度	材料安全率
1920	市街地建築物法施工規則	(規定なし)	45	3程度
1924	同改正	0.1	45	3程度
1932	同改正	0.1	F/3	3
1943	臨時日本標準規格	0.15	F/1.5	1.5
1947	JES3001	0.2	F/1.5	1.5
1951	建築基準法施行令	0.2	F/1.5	1.5

*許容応力度はコンクリートの圧縮時の許容応力度(kg/cm²)、Fは材料強度

伏点程度とされた。短期概念は、本来は極めて希に発生する予想最大の外力に対して建築物の終局強度が確保されているかを検証することを意図していたが、当時の技術水準では塑性解析が困難なため、結果として比較的にたびたび発生する外力相当のものに対して建築物が弾性範囲に収まることを確認することで、これに代えるものになった。その結果、地震力は見かけ上は、当時から予想されていた最大級の大きさのものにはならず、中規模の地震の力に相当する震度0.2となった。しかし、この計算体系は中程度の地震に対する安全性の確保を目的としたのではなく、最終目標は、関東大地震のような極めて希な外力に対する終局安全性の確保を目的としていたと考えるべきであろう。

表2.1に、建築基準法成立までの設計用地震力と材料安全率の変遷を示す。

2.1.2 建築基準法施行以後

1950年に、構造計算方法についてはJES3001をそのまま採用して、建築基準法と同施行令が施行された。1952年には、地域による地震活動度などを反映して設計用地震力を変化させる地震地域係数と地盤構造係数が導入された。1959年の改正では、法の改廃に伴う経過措置として残されていた市街地建築物法の構造計算規定が廃止された。この頃から、強震記録とコンピュータを用いた分析から固有周期と地震力の関係が示され、日本でも高層建築が可能であることが明らかとなった。同時に、法令の地震力である震度0.2よりも大きな地震力が加わる可能性が示された。

1964年の新潟地震では砂質地盤の液状化により、建築物の転倒が発生した。1968年に発生した十勝沖地震では、鉄筋コンクリート建築物での「短柱」のせん断破壊が目立った。このことから、鉄筋コンクリート造の耐震性についての再検討が行われた。「じん性」が少ない建築物には地震に対して脆いものがあることが明らかとなった。「じん性」とは、構造体が地震力を受けて、弾性領域を越えて塑性領域に入ったときに、強度を保ちながら粘り強く変形して地震のエネルギーを吸収できる能力のことである。1971年に建築基準法施行令の構造規定が改正され、建築物はじん性を確保すべきことなどが定められた。特に柱のじん性を確保するため、鉄筋コンクリート造の柱の補強法が改正され、帯筋間隔が短くされた。

1978年の宮城県沖地震でも、建築物にかなりの被害があったため、1972年から始まった「新耐震設計法」の開発プロジェクトの成果をもとに、動的設計法の考え方を取り入れ、1981年に大改正された。地震に対しては、中地震時にほとんど被害を生じず機能を維持することを目標に、建築物の自重の0.2倍の大きさの地震力に対す

る1次設計を行うのに加えて、大地震時に部分的な被害は生じても人命に被害を生じないことを目標にして、2次設計として建築物の自重の大きさの地震力に対して、建築物のじん性も考慮して保有水平耐力を計算することとなった。地震力の計算はこれまでの水平震度に代わり、地震層せん断力係数により計算されることになった。また、建築物の層間変形の制限、剛性率、偏心率などの建築物の耐震要素の偏りに関する制限などが設けられた。この改正された耐震基準は「新耐震設計法」と呼ばれている。

2.2 建築基準法における法の不遡及の原則と耐震規定に関わる問題点

2.1.2では、「新耐震設計法」に至るまでの建築基準法の構造基準の変遷をみてきた。構造構造も含めて、建築基準法の各規定は、基準改定以前から存在する建築物についても適用されることになっているが、この原則を貫くと、既存の適法な建築物が法令の改廃により違反建築物となるという不合理な場合が生ずる。そこで建築基準法第3条2項により、この不合理を救済する規定が設けられている。第3条2項によれば、「この法律又はこれに基づく命令若しくは条例の規定の施行又は適用の際現に存する建築物若しくはその敷地又は現に建築、修繕若しくは模様替の工事中の建築物若しくはその敷地がこれらの規定に適合せず、又はこれらの規定に適合しない部分を有する場合には、当該建築物、建築物の敷地又は建築物若しくはその敷地の部分に対しては、当該規定は、適用しない。」とあり、それぞれの時点で改正前の法律に従って建設され、現在の法律に不適合な建築物は「既存不適格建築物」と呼ばれている。

建築物の構造基準についていえば、改正された法に適合させようとする、大幅な改修が必要となり、事実上建て替えることになる場合があるため、既存の建築物の適合しない部分に対しては改正法を適用しない、という考え方は合理性があるように思われる。しかし、2.1.2で見てきたように、建築基準法施行令の構造基準に関わる改正では、それまでの構造規定に欠陥があったことから改正される、という経過をたどっており、既存の建築物では、単に規定に適合しただけでなく、旧基準で問題となった構造的な欠陥がそのまま残される恐れがある。このような既存不適格建築物において、最低限の性能として人命の安全を確保しようとする場合には、耐震診断を行って、耐震性に問題があると判断されたときには必要な補強を行うことが必要である。

既存の建築物に対して耐震補強を行うには、多くの資金が必要となることから、憲法に保証される財産権の立場からも耐震補強を強制すべきではない。しかし、憲法に示される公共の福祉の観点から、公共性の高い不特定多数の人が利用する建築物については、一定の期限を設けて耐震補強により大地震時に人命の安全を保障できる性能を確保すべきである。消防法では、消防用設備等の設置、維持について、第17条の2で同じように適用除外を設けているが、第17条の2第2項四号で「現に存する百貨店、旅館、病院、地下街、複合用途防火対象物その他同条第一項の防火対象物で多数の者が出入りするものとして政令で定めるもの」に対しては第

17条第2項を適用しない、すなわち公共性の高い建築物は既存のものでも適用除外の対象外となることを定めている。また、病院や警察、消防、市役所、学校などの地震発生時に救援、復旧活動の拠点となるような建築物については、耐震補強によって、大地震時に建築物の機能を維持できることが望ましい。

2.3 非構造部材に関わる耐震規定とその問題点³²⁾

1978年に発生した宮城県沖地震など過去の地震により、窓ガラスや外装材などの非構造部材が落下、破損し、大きな問題となった²⁸⁾。これは、非構造部材の被害は広範囲にわたり、補修費がかさむばかりでなく、建築物の内外での非構造部材の落下や転倒が人の生命や身体に危険を及ぼしたり、建築物の機能を低下させるためである。このことから、2.1.2で触れたように、現行の「新耐震設計法」では、非構造部材の安全性を確保するための構造的な対策として、中程度の地震に対する建築物の機能維持を目的とした、層間変形制限の規定が設けられた。また、非構造部材そのものの耐震安全性については、1985年には日本建築学会から「非構造部材の耐震設計指針」¹⁾が示された。

2.3.1 層間変形制限の目的

ある建築物を許容応力度に従って設計したときに、例えば地震力がかかったときの変形量は、構造的には問題になる要素ではないが、建築物の機能面には大きな影響がある。構造骨組の変形の影響を最も強く受けるのは、建具、間仕切などの内外装材であって、これらは構造骨組の変形が過大である場合、容易に破壊離脱してしまう。これら内外装材の破壊が人の生命や身体に危険を及ぼしたり、建築物の機能を低下させないように、現行の建築基準法では層間変形制限規定を定めている。

2.3.2 層間変形制限成立までの経緯

耐震基準において層間変形制限に関する検討がはじめて盛り込まれたのは、1964年に建築学会がまとめた「高層建築技術指針」である。解説では、変形制限の主旨として地震時の耐火被覆の剥落、窓ガラスや外壁の破壊、落下などが指摘されている。この例をはじめとして、1960年代から1970年代には高層建築物の地震応答解析研究をはじめとする動的研究に基づいた変形制限に関する提案がされている。1968年の十勝沖地震を経て、上記の研究などを背景に、新耐震設計法の建設省総合技術開発プロジェクトが実施された。その1977年の報告書においては、変形制限として、1次設計用地震力に対して層間変形1/200以下、全体変形1/250以下が提案されて

いる。鋼構造では、材料の性質上この制限が厳しいため、両者とも1/150以下に緩和されている。この報告書に基づき、1980年に建築基準法施行令が改正されて層間変形制限が規定され、現在に至っている。

2.3.3 層間変形制限の対象

層間変形制限の対象となるのは、特定建築物（木造、ブロック造など。RC、SRC造で壁、柱の多いもの。S造で所要規定を満たすもの）を除いた建築物であり、2次設計のひとつとして行われる。層間変形の検討には中地震時の地震力に相当する1次設計用の地震力が用いられ、各階に生ずる水平方向の層間変位の当該各階の高さに対する割合（層間変形角）が1/200（地震力による構造耐力上主要な部分の変形によって建築物の部分に著しい損傷が生ずる恐れのない場合にあっては、1/120）以内であることを確認する。

この層間変形角1/200という制限は、通常の内外装材が1/250程度の層間変形角で破損が始まり、1/100ないし1/50程度で離脱を含む重大な損傷を受けることから、重大な損傷に対する安全率2を確保するという主旨で決まったものである。この制限値は、鉄筋コンクリート造、鉄骨鉄筋コンクリート造、鉄骨ブレース構造の建築物では、部材の応力度が許容応力度に近づいても十分満足できる値であるが、鉄骨ラーメン構造の場合は応力度を相当低く抑えないと満足できないことがある。建設大臣認定の工業化住宅のうち鉄骨系住宅については、内外装材に顕著な損傷が生じないことを条件に骨組の層間変形角を1/120まで許容しており、同様に内外装材が適切に取り付けられる場合には層間変形角を1/120まで許容することとなった。

2.3.4 非構造部材の耐震設計指針

非構造部材の耐震設計に関する指針として、日本建築学会による「非構造部材の耐震設計指針・同解説および耐震設計・施工要領」¹⁾がある。これは

この中で、非構造部材において目標とする耐震安全性が以下のように示されている。

大地震時に、非構造部材の破壊や変形が直接あるいは間接に人の生命や身体に危険を及ぼさないこと、また震災時に果たさなければならない社会的に重要な機能を持つ建築物にあってはその機能を確保すること。中地震時には、非構造部材の破壊

や変形が直接あるいは間接に建築物の機能をほとんど低下させないこと、また非構造部材の破壊や変形を修理するのに多額の費用を要しないこと。

非構造部材の耐震安全性の検討方法としては、慣性力に対して、非構造部材とその接合部の応力が材料の許容応力度以下となるようにすること、中地震時に1/200または1/120、大地震時にはそれ以上となる強制変形角に対しては、建築物や非構造部材の種類、重要度によって、中地震時および大地震時の許容破壊限度が表2.2のように定められている。また、非構造部材、特に腰壁、垂れ壁などが、主体構造の強度などに不利な影響を与えないよう確認することとなっている。

表2.2 非構造部材の強制変形角に対する検討時の許容破壊限度

非構造部材の破壊程度の区分

破壊の程度	被害の有無	補修の必要	部品交換の必要	脱落、重要な機能の低下 (扉の開閉不能など)
A	なし	なし	なし	なし
B	あり	なし	なし	なし
C	あり	あり	なし	なし
D	あり	あり	あり	なし
E	あり	あり	あり	あり

非構造部材の許容破壊限度

地震の強さ	建物の重要性	非構造部材の破壊が避難に及ぼす影響	非構造部材の種類				
			バルコニー・ひさし・外部非常階段	天井・扉・煙突	外壁(仕上を含む)・パラペット・屋根ふき材・エキスパンションジョイント	間仕切・フリーアクセスフロア	窓・ガラス間仕切・広告塔・看板
中地震	特に重要な建物	ありしも あなと	A	A	A	A	A
	その他の建物	ありしも あなと	A	B	B	B	C
大地震	特に重要な建物	あり	B	B	B	B	C
		なし	C	C	C	C	C
	その他の建物	あり	C	D	D	D	D
		なし	C	D	D ¹⁾	E	D

【注】 1) 危険でない方法を講じた場合は、破壊程度のランクを下けてもよい。

2.4 ロサンゼルス市の地震時のインスペクション制度³⁴⁾

建築物に対する諸々の規制は、基本的にはこれを利用する不特定多数に対して、その福祉に反することが生じること（例えば、地震で崩壊した建物の下で圧死する、高層建築物で火災に巻き込まれて死亡することなど）が一定の頻度以下になることをめざしていると判断される。これを実現する一手段としてインスペクション（Inspection）がある。インスペクションとは検査、点検の意である。対象を建築物に限定してロサンゼルス市（米国）でインスペクションの語が用いられる場合をあげれば、日本でいう完成検査（建築基準法第7条による）に相当するものから、設計者の行う施工監理のための検査や保険会社の行う調査まで、種々の範囲のものが含まれる。実施されるインスペクションの種類としては、1)建築許可の発行を受けた建築物の工事中及び竣工時に行われるもの、2)建物使用中に行われるもの、3)Incident Command Systemと呼ばれる危険管理体制に基づき、地震時に建築物の被害評価を行うためのもの、の3種類がある。ここではロサンゼルス市建築安全局（Department of Building and Safety）が公的に行うインスペクションのうち、地震時に建築物の被害評価を行うためのものに限定して説明する。

地震時における建築物のインスペクションの目標はできるだけ多くの人ができるだけ早く住んでいた建物に戻れるようにすることである。それによって、都市の経済的基盤がより早く回復し、復旧にかかる期間が短くなる。また、避難所の維持のための財政的負担や、人々の感情的負担も少なくできる。建築物のインスペクションについて、次のような優先順位が示されている。まず、警察署、消防署、報道機関や病院のような、災害後も業務ができる状態で残っていなければならない不可欠な公共事業施設、次に、地域社会の経済的基盤を代表する商業、工業、事務所建築物、そして、長期間の被害者の避難に使うことができるようなホテルなどの高密度住居構造、最後に、個人住宅である。

建築物の状況を表示する方法は、図2.1に示すような色を使った3種の掲示方式をもとにしている。これらの掲示は建築物の所有者や使用者に対して、建物の状況について説明することを目的としている。掲示の選択は、建物を再使用するための主な基準によって建物の評価をして決定される。ほとんどの場合、どうやって被害を修理するか、あるいは、修理が経済的に実行可能かどうかを決定するためには、この時点での評価では十分ではない。評価はただ建物を使用できるかどうかを決定することのみに十分である。

緑の掲示は、相対的に安全な構造物を表示するために使われ、「検査済（INSPECTED）」と表示される。緑の表示される構造物のための基準は、1)外見上

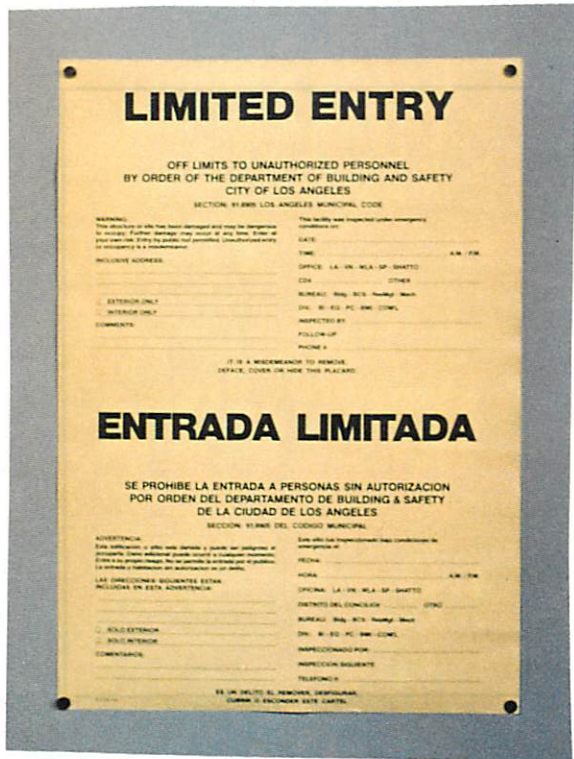


図2.1 掲示の例

の危険が見つからない、2)修理は必要かもしれない、3)水平荷重耐力や垂直荷重耐力が著しく減少していない、である。緑の掲示ではその建築物の使用が許可される。

黄色の掲示は損害を受けているが、まだ注意すれば建物への立ち入りが可能な構造物の表示をするために使われ、「使用制限 (LIMITED ENTRY)」と表示される。この表示は修理しなければ完全には使用できない、また、使用できないが所有物を持ち出すための立ち入りを許可するのに相対的に十分安全であるような構造物を定義する。この表示とともに建物の継続使用の制限事項が掲示に記入される。黄色の表示される構造物の基準は、1)建物が損害を受けているが住むことができるまたは住むことができない、2)構造物の一部分に落下の危険がある、3)水平力や垂直荷重に抵抗する機構が損害を受けているが、なお荷重に抵抗できる。このとき、記入された制限に従って使用が許可される。

最後の掲示は安全な使用に対する重要な脅威が現れている建物や構造物の表示のために使われる赤の掲示である。明らかに、この掲示は「危険 (UNSAFE)」と表示される。修理が経済的に実行可能かどうかを決定するためには、再度の詳細な調査が必要である。危険と判定された建物のほとんどは修理が可能であり、その決定は、修理と建て替えのどちらが経済的か、ということによる。これは所有者が決定することであり、このことを知らせるために、「これは破壊命令ではない」、と書き加えている。赤の表示される構造物の基準は、1)きわめて危険で建物が崩壊するかもしれない、2)余震で崩壊する差し迫った危険がある、3)水平や垂直荷重耐力に重要な減少がある、である。

掲示のシステムとともに、評価の方法も3段階ある。評価の各段階は建物の状況について、より詳細な情報を与えることを目的としている。即時の評価と詳細な評価は、建物の所有者によって雇われた技術者か建築家によって技術的評価が行われるまでの間に、地方政府によって行われることを意図している。図2.2に、評価の進め方について示す。

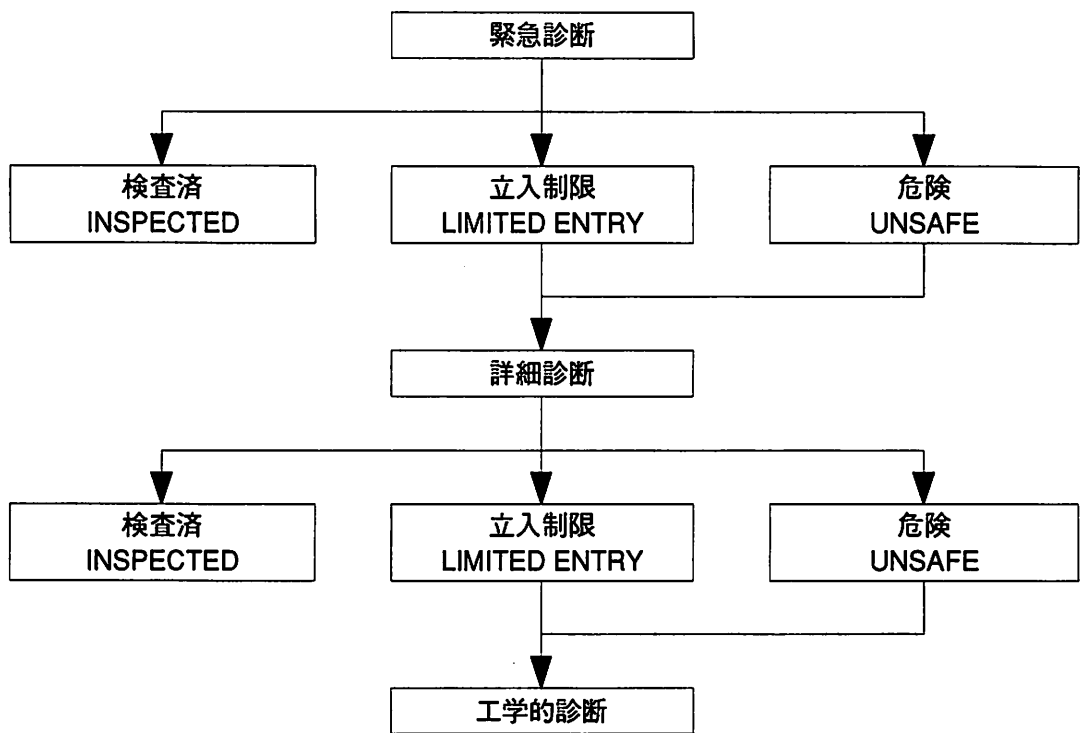


図2.2 評価の段階

理想的には、この過程は、即時の評価からはじまる。これは建物1軒あたり、およそ10から20分かかって、建物が即時に検査されるものである。この評価の段階の意図は、明らかに安全あるいは危険な構造物に対して早く揭示を行うことである。普通、これらの評価を行うために建物に入る必要はない。評価者が建物の状況について、より詳細な評価によってのみ答えられるような疑問を持ったために、黄色あるいは赤の揭示がなされたいくつかの建物もある。

評価の第2段階は詳細な評価である。これは、建物が、骨組構造の詳細な調査を含む、より徹底的に検査される。詳細な評価はどの場所でも、1から4時間かけることができる。この評価の型は、損害を受けた建物の内側と外側の、徹底的な視覚による調査である。普通、構造の状態について何らかの問題がある建物について行われる。ほとんどの場合、建物には、即時の評価において立入制限か危険の揭示がされているだろう。

評価の最後の段階は、工学的評価である。これは3つの段階の中で、最終の、最も包括的なものである。工学的評価は、建物の所有者によって雇われた、専門の工学者あるいは建築家によって行われる。この評価はどこでも1日から7日かけて行うことができ、損害を確認するだけでなく、損害の原因を決定するだろう。この評価の目的は、その情報から適切な修理計画を開発するような、損害の総計と損害の原因を決定することである。この修理計画は、法的権限上の修理の標準に従うことを確認するために、建築局に提出される。ひとたび、法的権限者が提案に同意すれば、建築許可が発行され、修理の作業に取りかかる。

建築物の安全評価を行うインスペクターの半数が、ボランティアとして、政府の職員としての法的責任からの保護を持たない民間から来ている。この問題に対しては、インスペクターが彼らの行った決定についての個人的法的責任を負わされることのないように、職員と同じ法的責任からの保護が与えられる。

日本では、このような被災度判定の手法として、「応急危険度判定」がある。この応急危険度判定の考え方は、1981年から1985年にかけて実施された建設省総合技術開発プロジェクト「震災構造物の復旧技術の開発」において開発されたものであるが、静岡県および神奈川県においてその地域特性を加味した被災度判定手法が制度化されてきたにとどまっていた。

2.5 まとめ

現行の建築基準法までの構造規定の問題点をいくつか指摘する。「新耐震設計法」の設計目標は、大地震時における人命の安全であり、建築物の財産、機能は考慮されていない。また、現実には、前提となっている地震力以上の揺れが発生する。法的に要求される強度の変化が、建物の耐用年数などの変化に比べて早かった。

改正前の法律に従って建設され、法の不遡及の原則により、現在の法律に不適合な建築物は「既存不適格建築物」と呼ばれている。建築基準法施行令の改正では、それまでの規定に欠陥があったことから改正される、という経過をたどっており、既存の建築物では、単に規定に適合しないだけでなく、構造的な欠陥がそのまま残される恐れがある。公共の福祉の観点から、不特定多数の人が利用する建築物については、一定の期限を設けて耐震補強により大地震時に人命の安全を保障できる性能を確保すべきである。

非構造部材の耐震安全性は比較的新しい概念であり、「新耐震設計法」以前の建築物では高層建築物を除いて、非構造部材の耐震安全性は特に考慮されてこなかった。非構造部材の耐震安全性を確保する手段としては、現在、構造骨組に対するものとして「新耐震設計法」における中地震に対する層間変形制限、「指針」における非構造部材そのものに対する大地震時、中地震時の慣性力、強制変形角に対する検討がある。

余震などによる2次災害防止を目的とした応急危険度判定制度は、日本においては、静岡県、神奈川県など、一部の自治体で制度化されてきたにとどまっていた。

第3章

阪神・淡路大震災による死亡リスク

本章では、阪神・淡路大震災による死亡リスクをマクロな視点とミクロな視点の双方から分析し、多数の死亡者が発生した原因を明らかにする。

3.1 死亡リスクのマクロ分析⁴²⁾

3.1.1 分析方法

阪神・淡路大震災による死亡リスクを、新聞・雑誌記事を用いて、他の地震被害による死亡者数との比較、死亡原因の分析、死亡者の年齢、地域分布と、倒壊率や木造住宅率などの面から分析する。この分析では、名古屋大学工学部建築学科構造設計工学講座を中心としたグループによる、阪神・淡路大震災に関わる新聞記事のスクラップとデータベース化作業の成果の一部を利用している。被害率算定の基礎となる、人口、住宅数などの数値については、文献^{12),13)}を利用した。

3.1.2 死亡者数について

表3.1に兵庫県南部地震までの地震による死者数を示す。阪神・淡路大震災での死亡者は、過去の地震による死者数との比較から、被災地域の人口を考慮してもかなり多かったといえる。地震の大きさ（マグニチュード7.2）の割に死亡者数が多い理由は、同じく死亡者の多い三河地震や福井地震と同様に、都市直下型地震であったことが大きく影響していると判断される。

表3.1 過去の地震による死者数⁶⁾

地震名	発震年月日	M	死者数
東南海地震	1944/12/7	7.9	1,223
三河地震	1945/1/13	6.8	2,306
南海地震	1946/12/21	8.0	1,330
福井地震	1948/6/28	7.1	3,769
新潟地震	1964/6/16	7.5	33
十勝沖地震	1968/5/16	7.9	53
伊豆半島沖地震	1974/5/9	6.9	30
伊豆半島近海地震	1978/1/14	7.0	25
宮城県沖地震	1978/6/12	7.4	28
日本海中部地震	1983/5/26	7.7	104
長野県西部地震	1984/9/14	6.8	29
北海道南西沖地震	1993/7/12	7.8	231
兵庫県南部地震	1995/1/17	7.2	5,502

3.1.3 死亡原因の分析

表3.2, 3.3に阪神・淡路大震災による死亡原因を示す。死亡者の8割以上が家屋倒壊によるものであると判断される。あとで示すように、死亡者の多くは震度7の地域に集中しているが、震度4～5程度であった大阪市内でも家具の転倒などの原因で死亡者が発生しており、さらに調査が必要であろう。また、高速道路の倒壊に伴う死亡者が16人発生している点も注目される。阪神・淡路大震災では地震発生が早朝であり、自動車や鉄道がほとんど運行されていなかったため、高速道路や鉄道の高架、橋梁の崩壊による被害は最小限にとどまったと考えられる。また、洲本市ではガス中毒による死者が発生しているなど、設備の耐震安全性についても課題を残した。

表3.2 阪神・淡路大震災による死者の死亡原因(厚生省人口動態統計より)

死亡原因	死亡者数
窒息・圧死	4,224
焼死・熱傷	504
頭・頸部損傷	282
内臓損傷	98
外傷性ショック	68
全身挫滅	45
挫滅症候群	15
その他	128
不詳	124
総数	5,488

表3.3 阪神・淡路大震災による死者の死亡原因(兵庫県警, 読売95.4.8より)

死亡原因	死亡者数
家屋倒壊	4,816
火災	570
家具・自販機・クレーンなどの下敷き	65
車両走行中	17
土砂崩れ	11
総計	5,479

3.1.4 災害弱者の死亡リスク

1990年10月1日現在の年齢別人口¹²⁾を用いた神戸市東灘区の年齢別死亡者比率を図3.1に示す。災害弱者である高齢者の死亡が多かったことがわかる。この原因としては、旧市街地の老朽木造住宅に高齢者が多く住んでいたこと、高齢者が行動能力の問題から2階建ての1階で寝ていたこと、高齢者の判断能力の問題などが指摘されている¹⁴⁾。また、20～24歳の死亡率がその前後の年齢層に比べて高くなっているのは、学生が利用していた下宿に老朽木造賃貸住宅が多かったことが指摘されている¹⁴⁾。なお、用いた年齢別人口はほぼ5年前の調査によるものであり、実際には5年分の補正が必要であるが、年齢別の人口構成比は5年間で大きな変化がないと判断されることから、そのまま用いることとした。

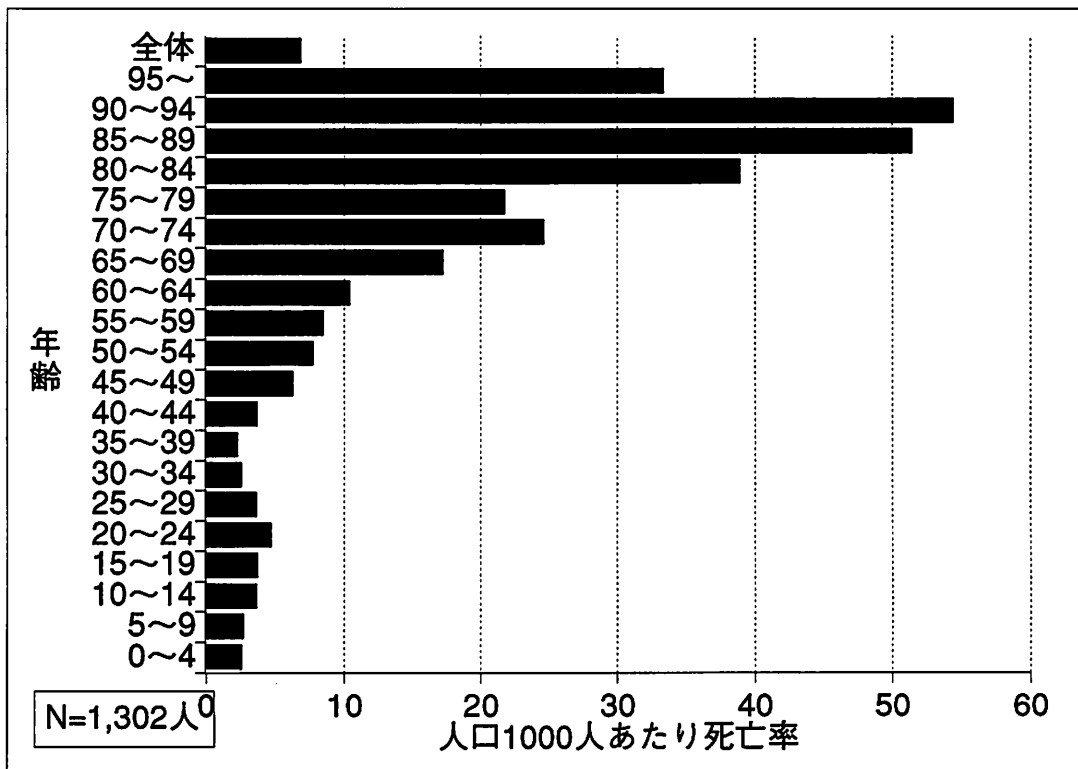


図3.1 神戸市東灘区における年齢別死亡率
(朝日新聞95年3月23日までのデータをもとにして作成)

3.1.5 死亡者の地域的分布

死亡リスクの地域的分布については、新聞紙上で公開されている死亡者の氏名、年齢、住所と、町丁目別の人口データを用い、地域別の死亡リスクを検討する。

死亡リスクの検討を行うための参考に、はじめに神戸市の市街地形成の過程について簡単にまとめておく¹¹⁾。

明治維新以後、港湾都市として発展した神戸市は、1938年の阪神大水害や1967年7月の大水害など、たびたび水害により市街地の被害を受けており、治水事業などの水害対策が推進されていた。また、1945年2～8月の太平洋戦争による戦災によって、神戸市の市街地の3分の2が灰燼となった。戦後は戦災復興の区画整理事業が進められた。昭和30年代に入り、日本は高度経済成長時代を迎え、神戸市では、宅地需要と産業用地の確保のため、六甲山系を削り海面を埋め立てる、いわゆる「神戸方式」の開発が行われてきた。郊外の開発が進む一方で、旧市街地ではインナーシティ問題が見られるようになった。

表3.4では、地域別の被害状況をまとめた。建築物の全壊や、死亡が特定の地域に集中していることがわかる。

表3.4 阪神・淡路大震災の地域別被害⁹⁾

	死亡者数	人口	人口1000人 あたり死亡率	全壊棟数	世帯数	全壊棟数 /世帯数
神戸市	3,832	1,477,410	2.59	67,421	530,063	0.13
東灘区	1,302	190,354	6.84	13,687	72,625	0.19
灘区	850	129,578	6.56	12,757	53,530	0.24
中央区	185	116,279	1.59	6,344	50,146	0.13
兵庫区	412	123,919	3.32	9,533	51,726	0.18
長田区	745	136,884	5.44	15,521	52,308	0.30
垂水区	11	235,254	0.05	1,176	80,664	0.01
須磨区	306	188,119	1.63	7,696	61,664	0.12
北区	14	198,443	0.07	271	61,133	0.00
西区	7	158,580	0.04	436	46,267	0.01
伊丹市	11	186,134	0.06	1,369	62,556	0.02
宝塚市	82	201,862	0.41	1,339	67,357	0.02
尼崎市	37	498,999	0.07	4,880	183,842	0.03
西宮市	968	426,909	2.27	19,500	156,671	0.12
芦屋市	382	87,524	4.36	4,661	32,186	0.14
明石市	11	270,722	0.04	2,210	88,730	0.02

図3.2では、建築物の倒壊率（各地域における建築物棟数のデータが得られなかったため、便宜上、全壊棟数／世帯数、とした）と人口1000人あたりの死亡率を比較した。

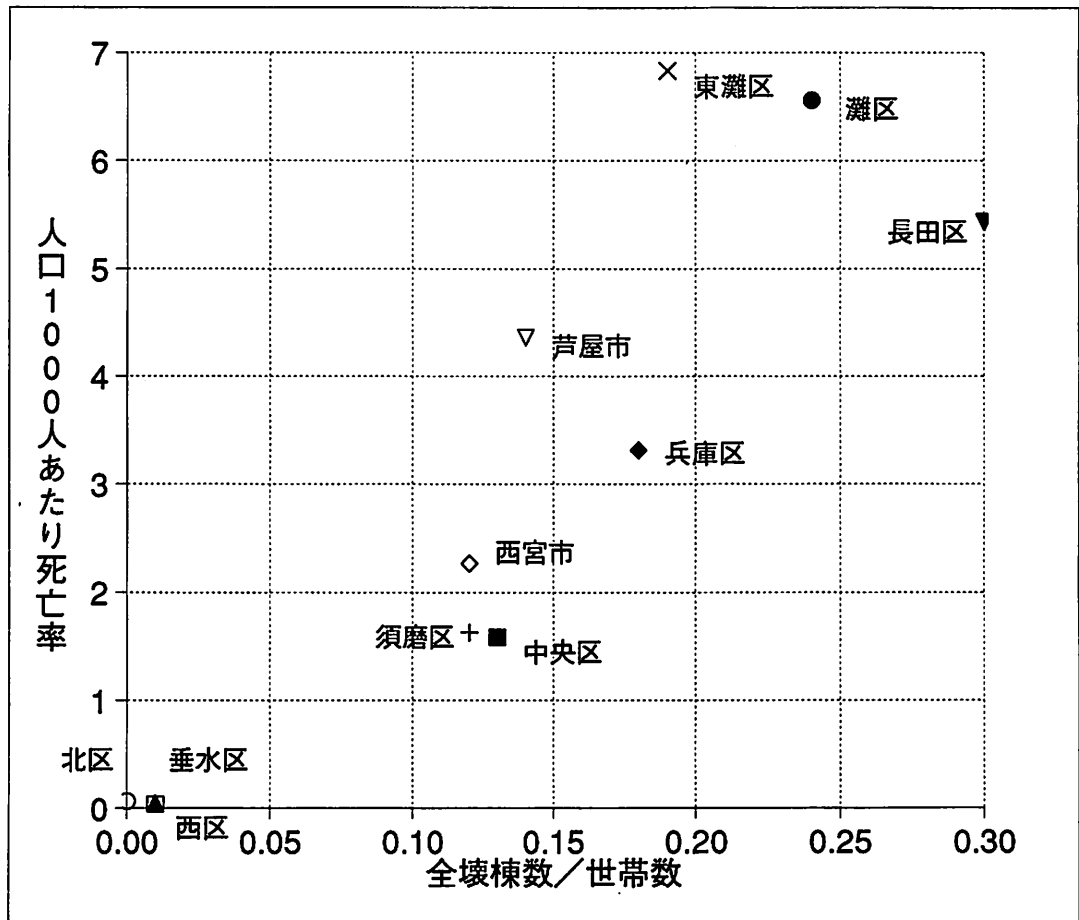


図3.2 全壊棟数と死亡率の比較

図3.3では、特に死亡率の高かった神戸市東灘区について、町ごとの人口1000人あたりの死亡率を示している。建築物の倒壊と同様に、死亡者の分布も特定の地域に集中している。「0.0~1.9」の地域と「20.0~」の地域が隣り合っているなど、隣接地域でも、死亡率が大きく異なる。住宅地図などから判断すると、いわゆる震災の帯と呼ばれる地域であっても、再開発などによってマンションなどが建設された地区では死亡率がかなり小さくなる傾向があった。

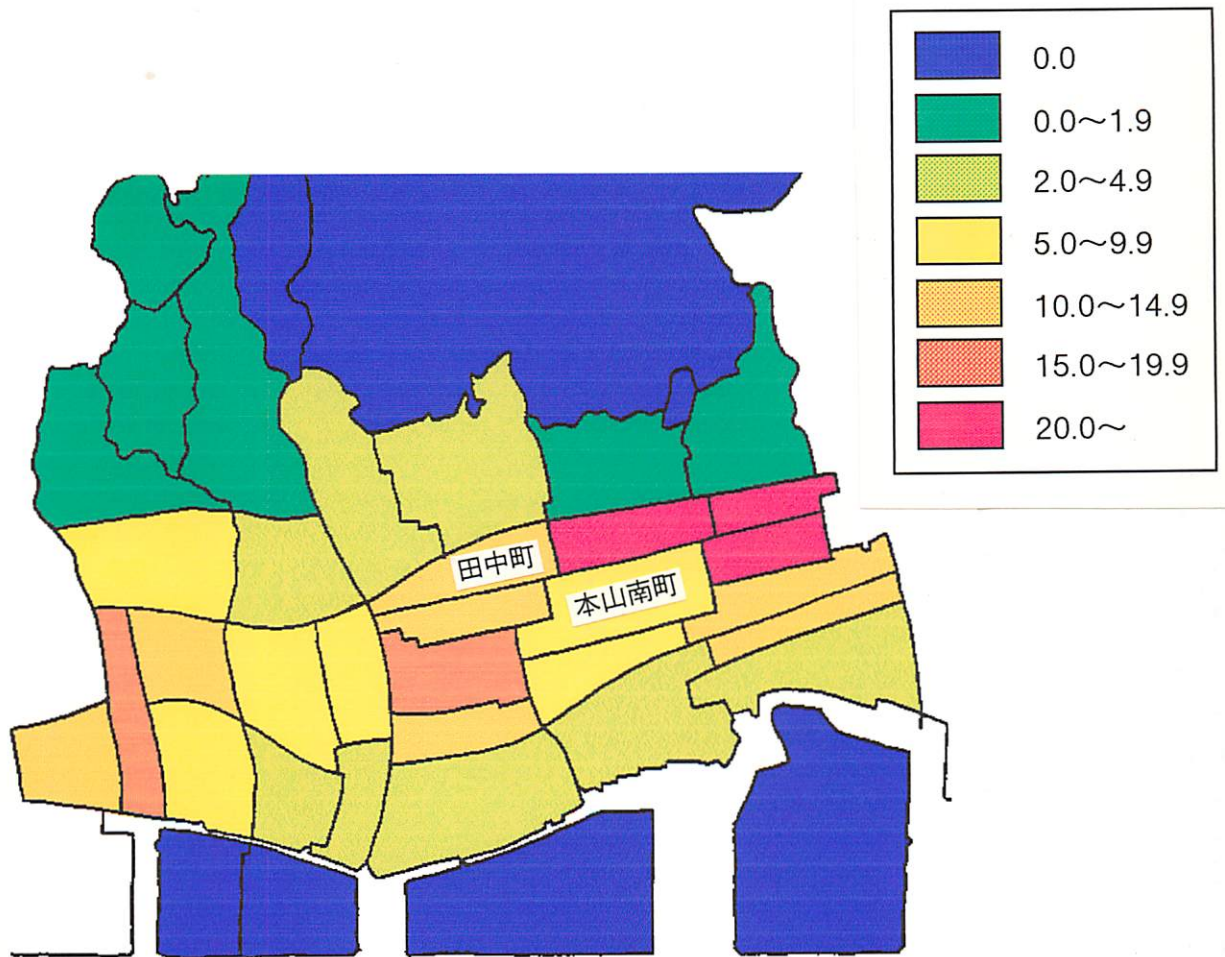


図3.3 神戸市東灘区における町別の人口1000人あたり死亡率

3.2 賃貸住宅における死亡リスク⁴³⁾

3.1では、阪神・淡路大震災による死亡リスクについてマクロな視点から分析したが、これだけでは死亡リスクの構造を明らかにすることができないため、ミクロな視点から、賃貸集合住宅に焦点を絞って死亡リスクの分析を行った。

表3.5は、田中町及び本山南町における賃貸集合住宅での人口及び死亡者数である。各項目の人口は平成6年12月1日現在の住民基本台帳⁴⁵⁾による値である。その他の部分は、全体の人口あるいは死亡者数から賃貸住宅の人数を引いたものであり、持ち家、あるいはそれ以外の場所で死んだ人の数であり、これら3者の値を持ち家、公営の賃貸、民営の賃貸を代表する値であると考えると公営での死亡リスクがかなり低く、民営での死亡リスクが圧倒的に高い。

表3.5 田中町と本山南町（神戸市東灘区）における公営と民間賃貸住宅における人口1000人あたりの死亡率

田中町	人口	死亡者数	死亡率
公営賃貸住宅	232	1	4.31
民営賃貸住宅	898	12	13.36
その他	4,966	61	12.28
計	6,096	74	12.14

本山南町	人口	死亡者数	死亡率
公営賃貸住宅	3,142	1	0.32
民営賃貸住宅	618	9	14.56
その他	7,318	41	5.60
計	11,078	51	4.60

また同時に「閉鎖登記簿」上で、両町の民営及び公営賃貸集合住宅の建築年、建築構造、延床面積等も調査した。これらの結果から、建築年代を集計したものを図3.4, 3.5, 3.6に示す。

縦軸上の数字は、死者の発生した棟数であり、死者は民営21名、公営2名となっている。図3.5, 3.6をみると、死者の大部分が1960年代から1970年代にかけて建てられた木造建物に集中していることがわかる。阪神・淡路大震災での全死亡者が同様の死亡構造にしたがっていると仮定すると二割弱のおよそ1,000人の人々が、このような古い木造賃貸住宅での犠牲者になったと推測される。また、木造住宅の税法上の耐用年数が22年であるということを考えれば、被害の多かったこれらの建物は、減価償却を終えた建物が賃貸住宅として提供されているということになる。

持ち家住宅においても死亡の構造が集合住宅と同様であるとすれば、死者の大部分が築後20年以上経った木造住宅に集中しているといえる。今回と同様な地震の可能性のある地域では、早急に既存建築物の耐震性の向上を促す必要があるだろう。

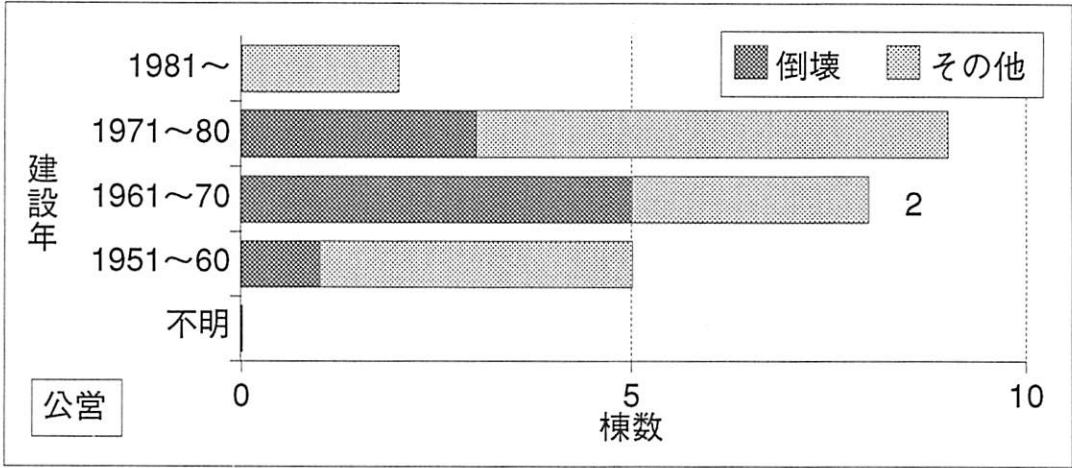


図3.4 公営住宅の建設年別建物棟数、倒壊棟数と死亡者の発生した棟数（バー上の数字）

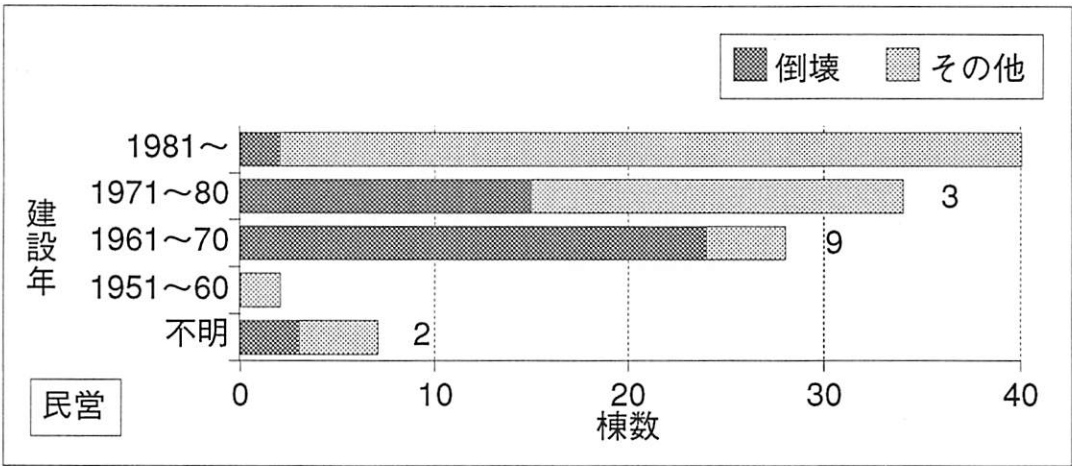


図3.5 民営住宅の建設年別建物棟数、倒壊棟数、死亡者の発生した棟数（バー上の数字）

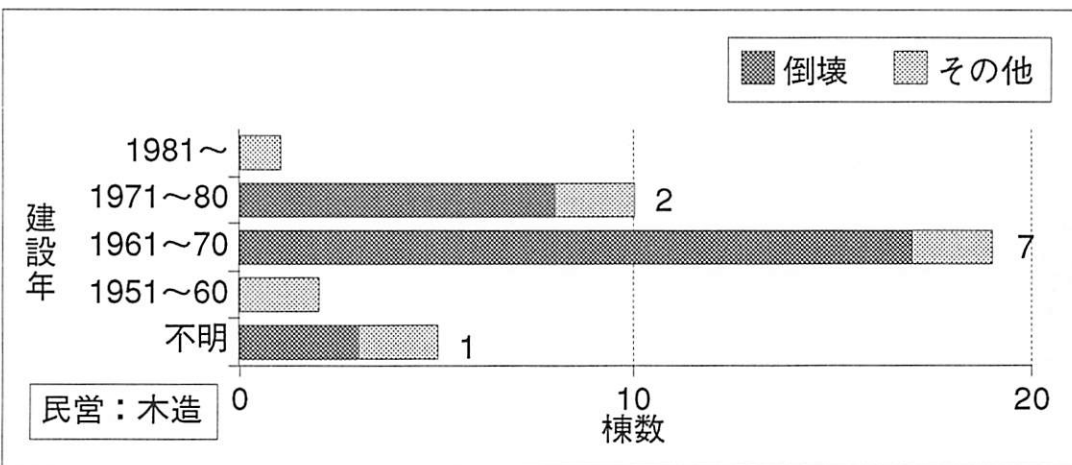


図3.6 民営住宅の建設年別建物棟数、倒壊棟数、死亡者の発生した棟数（バー上の数字）

3.3 まとめ

阪神・淡路大震災は、福井地震以来約50年ぶりの都市直下型地震であり、大都市圏を襲ったことで、5,502人もの死亡者が発生した。死亡原因としては、家屋倒壊によるものが圧倒的であるが、火災、落下・転倒物、高速道路の倒壊、土砂崩れ、ガス中毒などによる死者も発生している。高齢者の死亡も多かった。地域別では、全壊率の高い神戸市長田区、灘区、東灘区で特に死亡率が高かった。これらの地域の中でも震災の帯と呼ばれる特定の地域に死亡が集中している。

これらのマクロ分析だけでは、死亡リスクの構造を明らかにすることができないため、東灘区田中町と本山南町で公営、民営の賃貸住宅における死亡リスクを分析した結果、民営の特に老朽木造住宅において死亡リスクが高いことが示された。持ち家住宅においても死亡の構造が集合住宅と同様であるとすれば、死者の大部分が築後20年以上経った木造住宅に集中しているといえる。このことから、同様の都市構造を持つような地域では、このような既存の老朽建築物の耐震性向上が必要だろう。

第4章

阪神・淡路大震災による高層集合住宅の 住戸扉の開閉障害と出火

この章では、地震時に扉の開閉障害と出火が同時に発生し室内で焼死する、というような、従来の構造設計では検討されないような死亡リスクについて、阪神・淡路大震災の被害状況から分析し、建築基準法で目標としている「大地震時に人命を守る」ためには、非構造部材や設備の耐震安全性をどの程度考慮すべきかを検討する。

4.1 集合住宅の住戸扉の開閉障害によるリスクの分析

4.1.1 目的

扉は、本来の機能として人や物の出入りを制御することを目的としている。地震時においては、扉が開閉可能であって、避難できることが要求される。阪神・淡路大震災では、高層集合住宅において住戸扉の開閉障害が発生し、避難などの支障となったことから、この被害について調査・分析を行うとともに、室内での出火による死亡リスクがどの程度あったかを検討する。

4.1.2 既往の研究

1970年代以降、全国的にマンションブームとなり、各地で分譲マンションが建設された。これらの分譲マンションが地震の被害を受けたのは、1978年の宮城県沖地震が最初であった。仙台市におけるマンション数は、地震の発生した1978年6月12日現在で94棟、約6,200戸であった。これらのマンションは主に既成市街地に立地しているが、1974年以降は郊外にも立地するようになった。この地震で、仙台市内のSRC造の高層マンションで、玄関まわりの非耐力壁にせん断ひび割れが発生して、扉枠が変形し扉が開閉不能となる被害が発生するなど、マンションという居住空間システムの地震に対する安全性に関わる問題点が表面化したといえる。

日本建築学会が1980年にまとめた「1978年宮城県沖地震災害調査報告」²⁸⁾のなかで、仙台市におけるマンションの被害として、構造部材や2次部材、設備系統、家具の転倒および人身障害についての調査結果が報告されている。住戸扉についての調査も行われており、震度Vの仙台市内で、玄関扉の開閉不能は約2割の住棟で発生し、被害の大きい13マンションに対するアンケート調査では、調査世帯数657世帯の32%にあたる、210世帯で玄関扉の開閉不能が発生している。この報告の中では、玄関扉が開閉不能となることによって、室内での火災発生時に避難できなくなることについての記述はない。

扉の耐震性についての実験としては、後藤哲朗らによる「8階建壁式鉄筋コンクリート造アパートの耐震性に関する実大破壊実験」^{20),21)}や、伊藤 弘による「非構造部材の耐震安全性 -実大建物の耐震実験結果-」²²⁾などが行われている。伊藤の研究によれば、鉄筋コンクリート造7階建の実大建物において、最も小さい場合は1/600程度で、層間変位が1/200に達する前に大部分の扉が開閉不能になっている。層間変位がなくなった時点の扉の障害は、取り付けの間仕切壁の変形能や破壊状況と対応している。

「非構造部材の耐震設計指針・同解説および耐震設計・施工要領」¹⁾では、扉の耐震安全性の目標として、地震時、地震直後、あるいは地震に伴う火災時に、扉が開閉可能であって避難できることとしており、上記の2つの実験や宮城県沖地震による扉被害調査の結果なども参考にして、扉の強制変形に対する検討方法を示している。また、設計上のポイントとして、壁の破壊による扉枠の変形の防止、扉を改良して変形追従性を高めること、を挙げている。

4.1.3 分析の方法

神戸市長田区において、9階建以上の高層集合住宅の住戸入口扉を対象とした調査を行い、住戸扉の開閉障害の発生状況について分析を行った。同時に、神戸市における集合住宅の出火状況の調査を行い、集合住宅の出火率について分析を行い、地震直後に出火して扉が開かず、避難できず焼死するリスクを検討した。また、神戸市東灘区の地震直後に出火した集合住宅で、住戸扉の開閉障害の発生状況と出火時の行動についての調査を行った。

4.2 高層集合住宅の住戸扉の開閉障害に関する調査⁴¹⁾

4.2.1 調査方法

(対象) , 図4.1のような, 神戸市長田区内の9階建以上の高層集合住宅の住戸入口扉を対象とした。図4.2に示すように, 対象地域を気象庁震度7の地域とその外側の幅500mの2つの地域で全数を調査し, 拒否された2棟を除いて計45棟のデータを得た。構造種別は全てRCまたはSRCと判断される。また, 平面形も全て片廊下型である(二戸タイプに片廊下型が接する: 2棟, アルコーブ型: 1棟)。

(調査期間) 1995年3月と4月のうち5日間



図4.1 調査対象建物の例

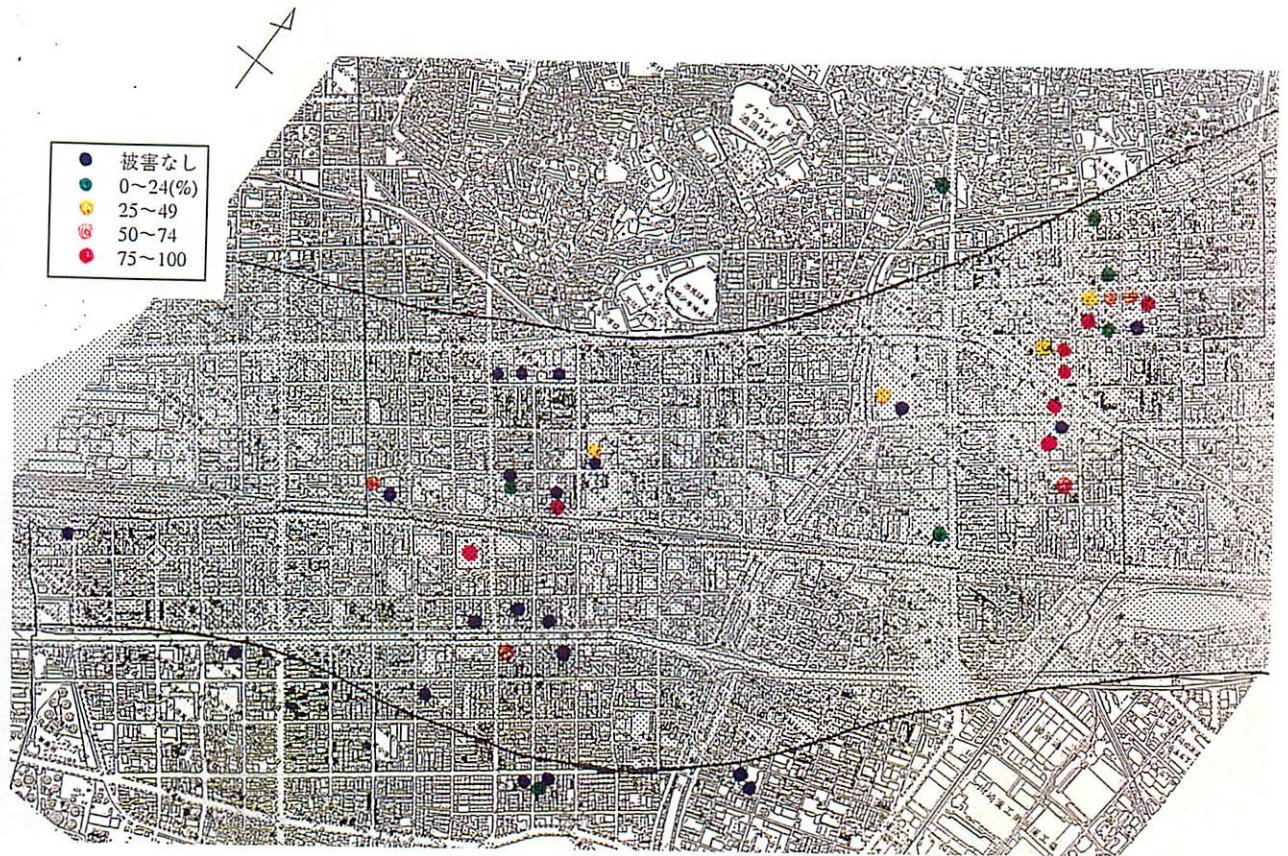


図4.2 調査範囲と結果

4.2.2 調査結果

外見から実際の開閉不能にかかわらず図4.3のように扉に座屈変形がはっきり認められるものを開閉障害のある扉と判断した。この中には、地震時に扉あるいは枠の変形により扉が開き、閉まらなくなった例も含まれている。調査した範囲では、全体の約3割の扉が開閉に何らかの支障が発生していたが、開閉困難な扉のある建物は震度7の地域に集中している（表4.1、図4.2）。逆に、震度6の地域では、開閉困難と思われる扉はほとんどなかった。調査結果の一覧を表4.2に示す。



図4.3 変形したドアの例

表4.1 住戸扉の開閉障害の発生率（地域別）

地域区分	棟数	開閉障害の発生した棟	開閉困難な扉の数(A)	全扉の数(B)	比率(A/B)
震度7	38	22	1,228	3,277	0.37
震度6	7	2	8	309	0.03

表4.2 高層集合住宅の住戸扉の開閉障害発生状況に関する調査結果の一覧表

震度	名称	階数	配置	判定	年	障害	全扉	比率
7	市営二番町住宅	13	平行	不明	89	64	72	0.89
7	市営番町住宅19号棟	11	直角	使用禁止	76	78	90	0.87
7	市営番町住宅20号棟	14	直角	不明	77	94	111	0.85
7	市営一番町住宅3号棟	12	直角	不明	80	132	156	0.85
7	新長田ジョイプラザ	26	直角	調査済	73	297	377	0.79
7	ホユウコンフォルトステーションプラザ神戸西(南棟)	11	直角	危険	90	39	50	0.78
7	市営番町住宅23号棟	10	直角	不明	83	38	49	0.78
7	市営番町住宅26号棟	11	直角	不明	89	76	98	0.78
7	ライオンズマンション新長田	10	直角	調査済	不明	14	21	0.67
7	市営番町住宅18号棟	11	平行	使用禁止	76	64	99	0.65
7	市営番町住宅17号棟	12	平行	使用禁止	73	57	98	0.58
7	藤和神戸ハイタウン	11	平行	不明	80	74	128	0.58
6	市営松野住宅(南北棟)	12	直角	不明	83	32	57	0.56
7	市営長田北住宅(南北棟)	14	直角	不明	93	31	65	0.48
7	市営番町住宅16号棟	12	平行	使用禁止	73	21	60	0.35
7	シャトランニューウエスト(南北棟)	11	直角	要注意	88	6	20	0.30
7	市営番町住宅31号棟	12	コ	不明	94	11	37	0.30
6	ワコーレニューウエスト	12	直角	不明	不明	6	44	0.14
7	市営番町住宅29号棟	10	平行	不明	92	6	60	0.10
7	エクセル菅原	11	コ	調査済	81	1	18	0.06
7	市営番町住宅22号棟	12	平行	不明	74	6	114	0.05
7	アーバンコモード新長田(南棟)	9	平行	要注意	89	1	32	0.03
6	サンドール長田南館	9	直角	不明	89	2	91	0.02
7	市営番町住宅25号棟	10	平行	不明	86	2	111	0.02
7	ホユウコンフォルトステーションプラザ神戸西(北棟)	11	平行	危険	90	0	60	0.00
7	ラ・パルフェ・ド・シェリール	10	コ	要注意	90	0	105	0.00
7	シャトランニューウエスト(東西棟)	11	平行	要注意	88	0	60	0.00
7	アーバンコモード新長田(北棟)	9	コ	要注意	89	0	7	0.00
7	サントウン御屋敷壱番館	15	平行	調査済	不明	0	148	0.00
7	サントウンアコルデ	12	コ	調査済	90	0	38	0.00
7	鷹取駅前ハイツ	9	直角	調査済	80	0	28	0.00
7	ダイアパレス西神戸	11	コ	調査済	91	0	127	0.00
7	ライオンズマンション新長田第2	10	平行	調査済	90	0	38	0.00
7	サントウン御屋敷壺番館	14	平行	調査済	不明	0	136	0.00
7	市営番町住宅24号棟	10	平行	不明	84	0	95	0.00
7	朝日プラザツインテージ神戸東	10	直角	不明	92	0	55	0.00
7	シティパレス新長田	12	平行	不明	82	0	44	0.00
7	市営長田北住宅(東西棟)	14	平行	不明	93	0	52	0.00
7	市営一番町住宅2号棟	14	平行	不明	80	0	112	0.00
7	市営真野住宅2号棟(東西棟)	9	平行	不明	88	0	51	0.00
7	市営真野住宅2号棟(南北棟)	9	直角	不明	88	0	27	0.00
6	朝日プラザ長田南	10	コ	要注意	87	0	39	0.00
6	コスモアベニュー新長田	11	平行	調査済	91	0	35	0.00
6	コーポサンプルーツ2	9	平行	調査済	91	0	22	0.00
6	市営松野住宅(東西棟)	12	平行	不明	83	0	106	0.00

建設年と開閉障害発生率については図4.4に示すように、宮城県沖地震後の1981年の建築基準法施行令改定の前後で、被害の程度に大きな差があることがわかる。宮城県沖地震の際に強いとされたアルコーブ型の玄関²⁸⁾についても、被害例が1棟（開閉障害率85%）あった。さらに1981年以前の被害と宮城県沖地震での扉被害の悉皆調査（図4.5）を比較して、阪神での揺れの方が大きかったことが想定される。

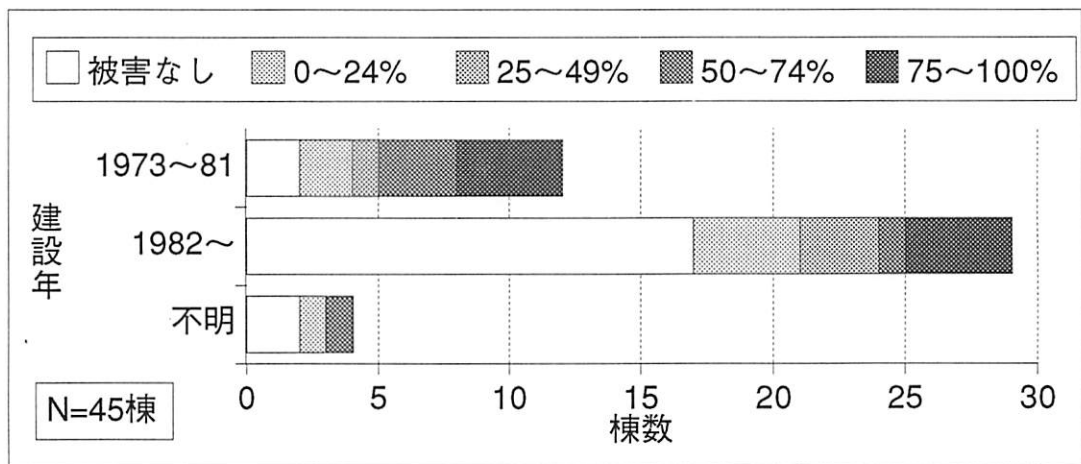


図4.4 建設年と開閉障害発生率

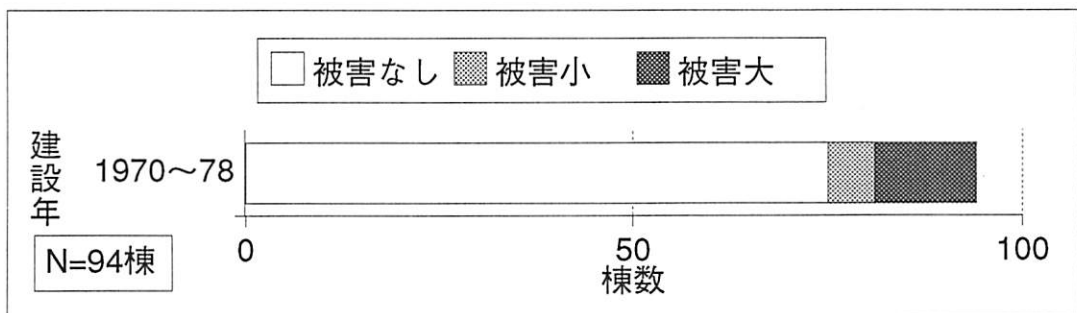


図4.5 宮城県沖地震時の仙台市の分譲マンション（4~14階建）の扉被害²⁸⁾

住棟配置と障害発生率については、震度7の地域内でL字型の住棟配置のもの（統計上は2棟として別々に扱った）全て（4例）で断層に対して直角方向になる南北棟（西側扉）と断層に平行な東西棟（北側扉）で被害に著しい差があった。表4.3の例のように、いずれも南北棟の扉にのみ被害が集中し、東西棟では扉に被害が生じていない。全体でも図4.6のように、断層に対して直角となる南北棟で被害の大きくなる傾向があった。

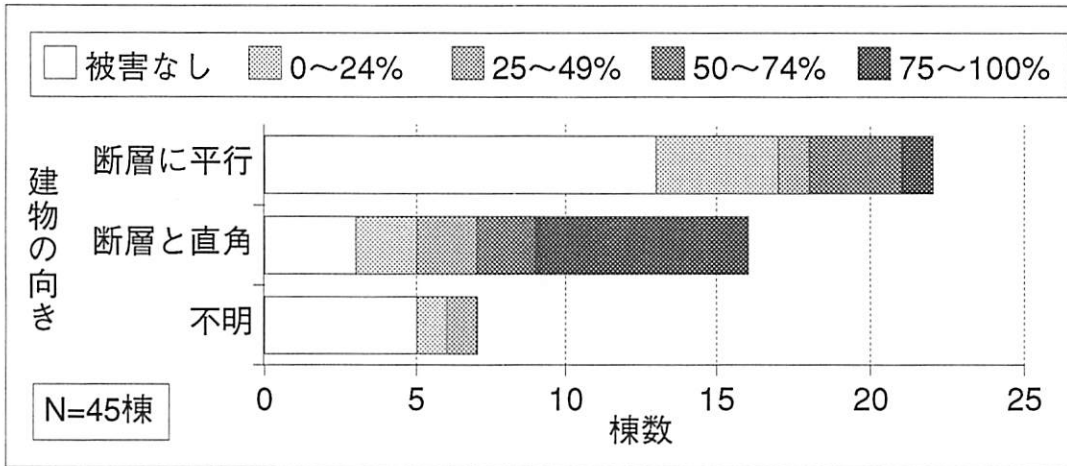


図4.6 建物の向きと開閉障害の発生率

表4.3 建物の向きと扉の被害状況の例

階	南北棟(西側扉)[断層と直角]			東西棟(北側扉)[断層に平行]		
	開閉困難な扉(A)	全扉数(B)	比率(A/B)	開閉困難な扉(A)	全扉数(B)	比率(A/B)
14	0	5	0.00	0	4	0.00
13	0	5	0.00	0	4	0.00
12	0	5	0.00	0	4	0.00
11	0	5	0.00	0	4	0.00
10	0	5	0.00	0	4	0.00
9	0	5	0.00	0	4	0.00
8	2	5	0.40	0	4	0.00
7	4	5	0.80	0	4	0.00
6	5	5	1.00	0	4	0.00
5	5	5	1.00	0	4	0.00
4	5	5	1.00	0	4	0.00
3	5	5	1.00	0	4	0.00
2	5	5	1.00	0	4	0.00
計	31	65	0.48	0	52	0.00

高さ方向とその建物での開閉障害については下層階の被害が大きくなる傾向があった(図4.7)。これは、図4.9のような層間変形による階段室内壁面の損傷と比較しても、ほぼ同様に下層階ほど被害が大きくなる傾向がある(図4.10, 4.11)。建物階数と開閉障害発生率のグラフを図4.8に示す。11,12階の被害率が多く、これは構造被害調査の被害分布²⁶⁾と同様の傾向である。

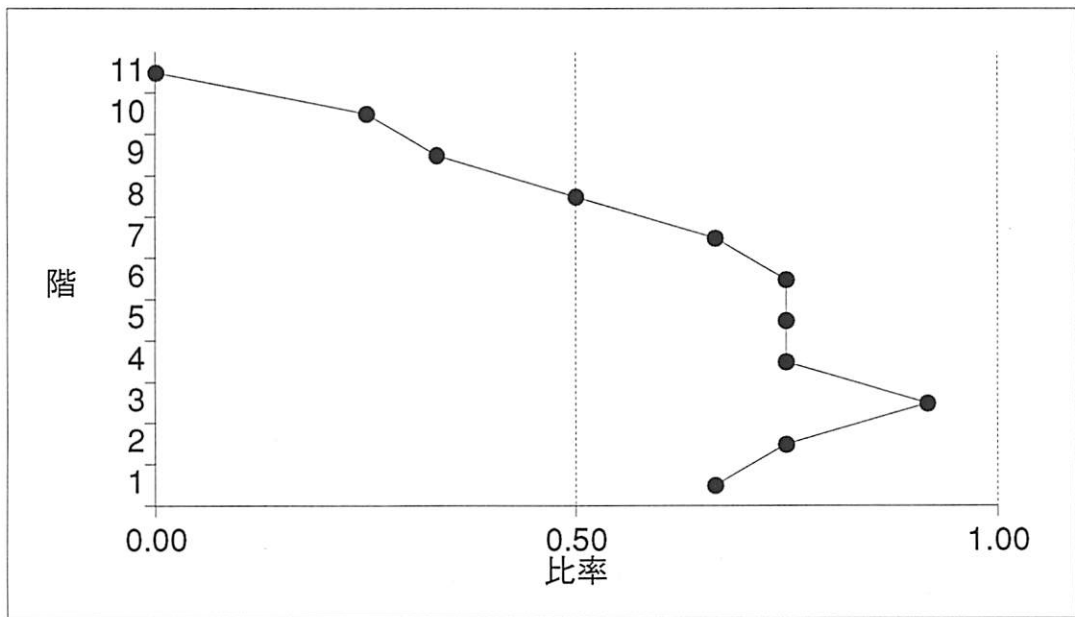


図4.7 住戸扉の開閉障害の発生率 (階数別)

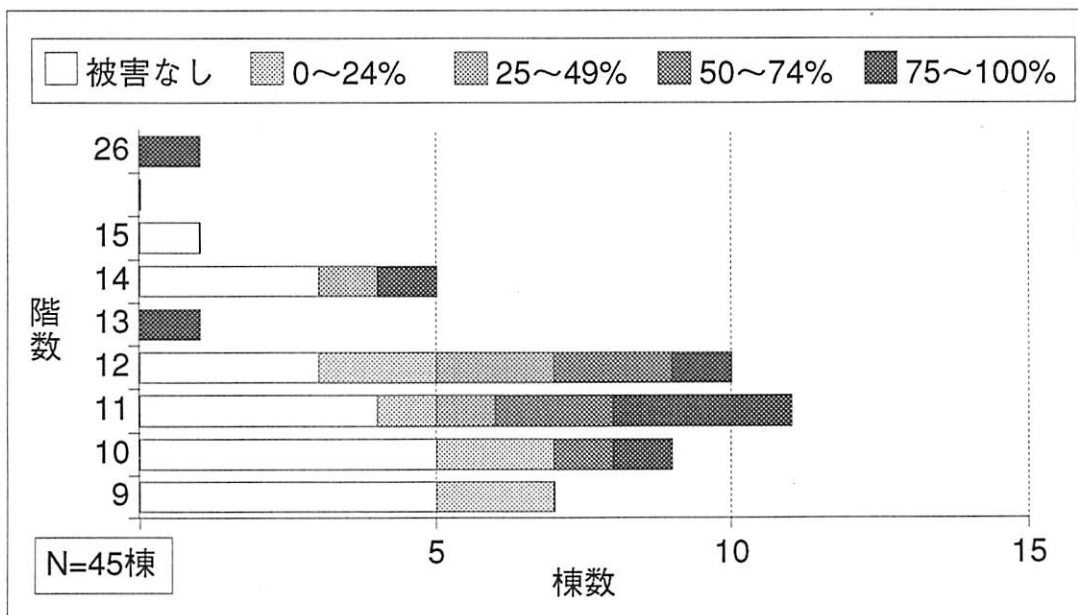


図4.8 建物階数と開閉障害発生率



図4.9 階段室壁面の損傷の例

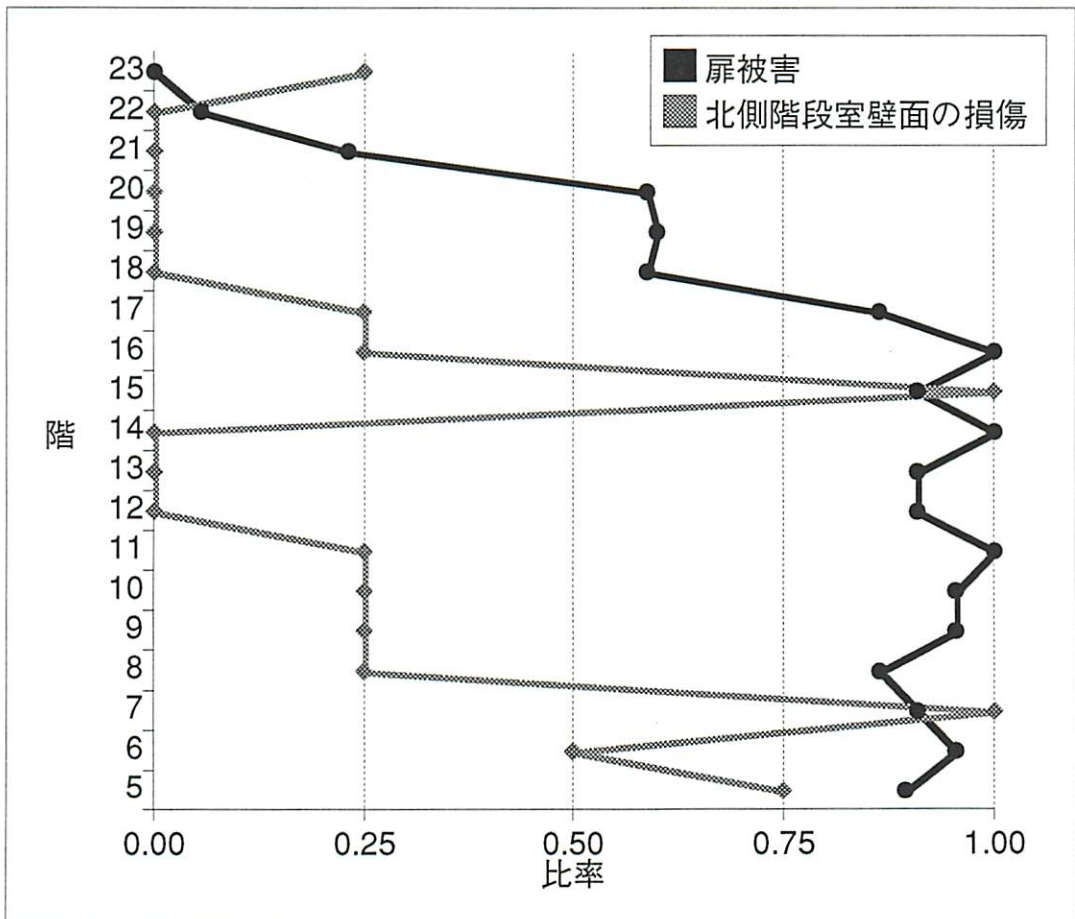
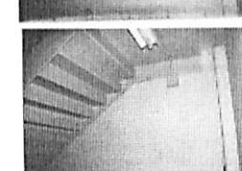
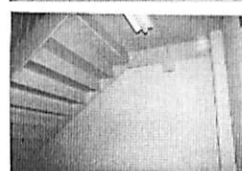
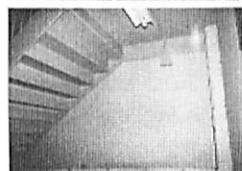
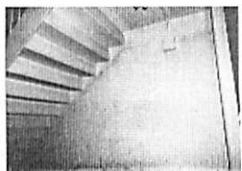


図4.10 住戸扉の開閉障害の発生率と他の非構造部材の被害の例（階数別）

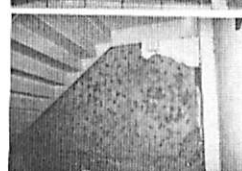
23階



16階



15階



7階

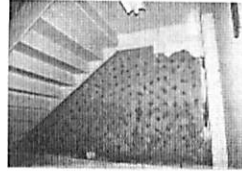


図4.11 南側階段室壁面の損傷状況（図4.10と同じ建物）

4.3 集合住宅の出火状況に関する調査⁴¹⁾

出火については神戸大学室崎研究室のデータベースにより、出火建物の用途として集合住宅、階数が分かるものについては5階建以上を条件に選別すると、神戸市内の出火は、地震直後に出火し、扉が開かずに死亡者1名を出した例を含めて14件であり、データベース全体の約1割を占める。これに対して現地調査などで情報を補完したものが表4.4、4.5である。

住宅統計¹⁹⁾によれば、神戸市における6階建以上の共同住宅の住宅数は85,180件であり、上表の階数がわかるものについては6階建以上を選別して(11件)、1万世帯当たりの出火件数を計算すると、1.29となる。この比率は図4.12に示す出火率と比較しても、出火の可能性が無視できるほど小さいものではないことを示している。一方、長田区における集合住宅の扉被害調査の対象域内では火災発生はない。

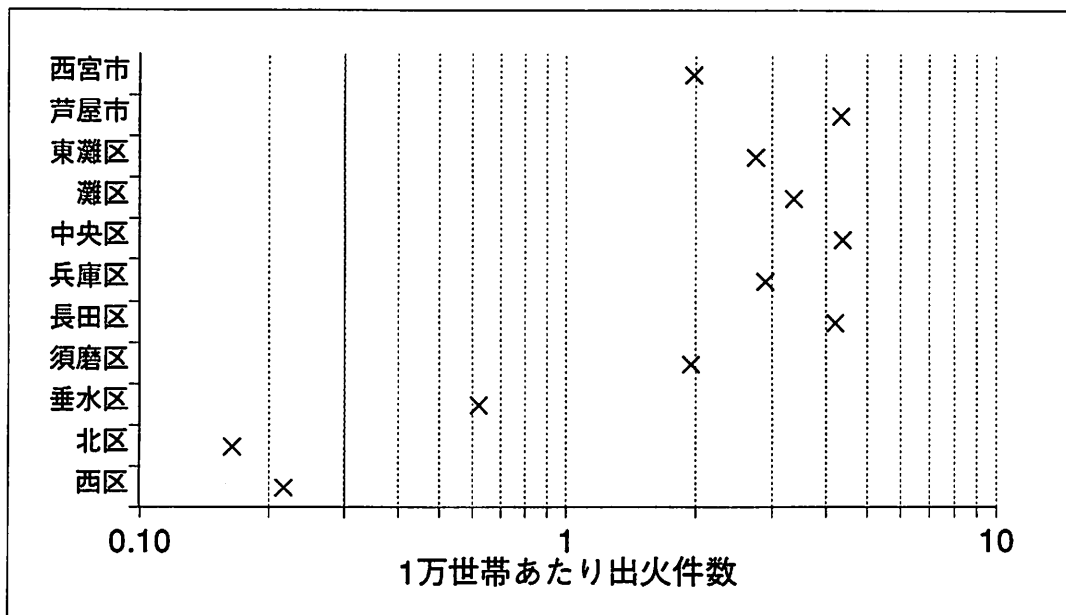


図4.12 地域別の1万世帯当たり出火件数

表4.4 神戸市における集合住宅の出火状況に関する調査で被災建物が判明した分

所在地	名称	階数	年	出火時刻	出火階	出火原因等
東灘区深江北 3丁目4-21	深江ハイツ	7	不明	17日17:50	4	ローソクから洗面台へ
東灘区本山南 4丁目	市営西青木	7	不明	直後	2	直後に出火,ドアが開かず,石油ストーブ(?)から,1名死亡
灘区下河原通 4丁目4-19	下河原ホワイトビル	4	不明	17日夕刻	4	電気ストーブ(?)復電後
中央区八幡通 1丁目1-12	ライオンマンション三宮磯上公園	14	84	17日9:40	6	不明
中央区港島中 3丁目	ポートビレッジ1号棟	14	81	18日2:05	13	通電後
中央区中山手 通4丁目22-4	ジョイフル県庁前	9	不明	17日8:00	9	漏電(?)
垂水区塩屋町 1丁目1	イトーピア塩屋	8	不明	17日午前	5	復電時のストーブ
垂水区舞子坂 3-4-3	リッツ舞子坂	4	不明	直後	3	不明

表4.5 集合住宅の出火状況に関する調査で被災建物が判明しなかった分

住所	名称	階数	出火時刻	出火階	出火原因等
東灘区深江南 1丁目付近	アーバンプラザ	不明	18日22:16	不明	復電して30分位後に出火
東灘区魚崎北 町8丁目2-19	ロイヤル魚崎	不明	19日11:07	不明	出火10分前にドンという音2回
灘区桜ヶ丘6 丁目	不明	12	18日7:50	8	不明
中央区中山手 通3丁目7-25	不明	7	17日8:00	不明	漏電(?)
中央区山本通 3丁目	メゾントーア	不明	不明	3	上階延焼
兵庫区門口町 付近	不明	5	直後	1	地震で1Fがつぶれてそこから出火
兵庫区中道通 7丁目?	セイコーマンション?	7	直後	4	爆発的に

4.4 火災の発生した集合住宅におけるアンケート調査⁴⁴⁾

4.4.1 調査目的

神戸市長田区における高層集合住宅における住戸扉の開閉障害の発生状況の調査と、神戸市内における集合住宅の出火状況の調査から、震度6の範囲であれば地震直後に火災が発生して扉が開かずに死亡する、という事象は、設計段階においてほとんど考慮しなくて良いと考えられるが、今後の耐震設計を考える上では、地震直後に住戸扉の開閉障害と火災の発生が同時に起こったときの人間の行動について調査しておく必要があると考えられる。そこで、調査対象として図4.13に示す、神戸市東灘区の市営西青木住宅を選定し、地震直後の行動に関するアンケート調査を行った。この集合住宅は、神戸大学室崎研究室のデータベースより原文を抜粋すると「直後に火災発生、ドア開かず、石油ストーブ(?)から、1名死亡」とあり、住戸扉の開閉障害と火災が同時に発生している。出火室の扉は、図4.14に示すような状況であった。なお、この住宅での死亡者について兵庫県警察本部刑事部科学捜査研究所に問い合わせたところ、「(出火原因については)『故人は、毎日、早朝より石油スト



図4.11 調査対象建物

ープを使用していた』という近所の話から判断したのではないか。また、消防の臨場時『扉が施錠されていた』とされている点から、（室内から）扉を開けようと試みたとは考えられない。」とのことであった。

調査は1995年6月に、対面形式のヒアリング調査で行い、扉の開閉障害について目視と実際にどの程度の誤差があるかの確認と、地震後の行動と火災の覚知状況について調査した。60件中35件で回答を得た。



図4.14 出火室の扉

4.4.2 調査結果

目視による開閉障害と実際の開閉困難さについては東灘区内の集合住宅で扉の開閉障害と出火に関するアンケートを実施し、表4.6を得た。目視での判断は概ね正しいと考えられるが、目視では問題ない扉でも、実際には開かなかったものがあると判断される。

火災が行動に与えた影響については、火災が発生した場所との位置関係よりもむしろ、どの場所で火災発生を知ったかに左右されると思われる。

扉が開閉障害を起こした場合の住戸からの脱出方法として、扉を開ける時に住戸外の人間の力に依った例が確認された。また、扉を経由しない方法が2通りあったが、いずれも扉に代わる確実な脱出方法としては疑問がある。

また火災知覚後の行動の変化のしかたもどの場所で火災発生を知ったかにより異なっていた。

表4.6 目視調査とアンケート調査による障害発生率の比較

出火階	階	扉総数	目視調査		アンケート調査				
			開閉困難な扉の数	障害発生率	開かなかった扉	開いてしまった扉	変化なし	不明	障害発生率
	7	9	1	0.11	1		4	4	0.20
	6	9	3	0.33	3		2	4	0.60
	5	9	1	0.11	4		2	3	0.67
	4	9	3	0.33	1		2	6	0.33
	3	9	4	0.44	5		0	4	1.00
○	2	9	5	0.56	3	1	1	4	0.80
	1	6	4	0.67	2		1	3	0.67
	全体	60	21	0.35	19	1	12	28	0.62

アンケート調査の障害発生率=(開かなかった扉+開いてしまった扉)/(全扉-不明)

4.5 まとめ

長田区における高層集合住宅の住戸扉の調査では、約半数の棟の約3割の扉で開閉障害が発生したと考えられる。建設年では、1981年以前の被害が多かったが、82年以降の建物でも半数近くに被害が発生した。このことから、中地震時における層間変形制限では、大地震時には扉の開閉障害の発生を防げないことが明らかとなった。その他の被害の傾向としては、断層と直角方向になる建物で、被害が大きくなる傾向があった。高さでは最上階では被害がほとんどなく、下の階に行くほど被害が大きくなる傾向があった。扉の被害は建具まわりの非耐力壁の変形、破壊によると判断される。

火災の発生した集合住宅のアンケート調査の対象建物では、出火室で死亡した例が1例あった。しかし、この例は兵庫県警によれば「扉を開けようと試みたとは考えられない」とのことであった。目視調査とアンケート結果による開閉障害発生率では、アンケート調査の方が高い値となっており、目視では問題ないと判断される扉でも、実際には開かなかった扉もあると判断される。扉が開かないことに対しては、隣人に開けてもらう、窓から出るなどの方法で対処した。

長田区における調査では、被害は明らかに震度7の範囲に集中している。一方、神戸市全域における集合住宅の出火率は無視できるほど小さいレベルではない。結果として今回の場合、震度6の範囲であれば「地震→防災設備（扉）動かず→火災拡大→建物内での人的被害」という事故にあう確率は特に配慮を必要としないほど低いレベルであると判断される。ただし、震度7の領域の中で構造的にほとんど被害を受けていないにもかかわらず、扉の変形したものは多いわけで、出火率も上昇することを考えると、大地震時における人命の安全という観点から、設計として無視してよいかどうか今後の課題となろう。

扉の耐震安全性を確保するためには、構造体の層間変形を小さく、扉本体と扉枠のクリアランスを大きくとる、扉そのものの構造を改良する（耐震ドア）、の3つの対策が考えられる。

第5章

ノースリッジ地震の被害分析と レトロフィット

本章では、1994年1月17日に発生したノースリッジ地震の際、専門家の行ったインスペクション結果が公開されていること（誰もが結果の入ったフロッピーディスクをUS\$100で購入できる）に注目し、このデータの分析を行う。尚、分析したデータはロサンゼルス市建築安全局長であるWarren O'Brien氏の好意により日本建築設備安全センターが1994年5月に入手したものを使用している。

5.1 ロサンゼルス市における地震被害とレトロフィット

レトロフィット (retro-fit) とは、直訳すれば、遡って適合させる、という意味で、耐震性に問題のある建築物に対して補強を行うことを指す。

「大都市と巨大災害ーロサンゼルス市に学ぶ」³⁹⁾をもとにして、ロサンゼルス市におけるノースリッジ地震までの過去の地震被害と建築関連法規の変遷から、このレトロフィットが行われるようになった背景についてまとめる。1933年に発生したロングビーチ地震で組積造の建物が多数倒壊し、1935年には鉄筋などで補強されて

いない組積造の建築を禁ずるよう法律が改正された。しかし、当時すでに鉄筋などで補強されていない組積造の建物が膨大に存在しており、今後地震が発生した場合には非常に危険な状態にあると考えられていた。1971年には、ロサンゼルス市をシルマー（サンフェルナンド）地震が襲い、組積造の建物の多くが、倒壊あるいは大きな損傷を受け、これらの建築物の危険性を改めて浮き彫りにした。その後1981年に、当時約8,000棟あった無筋の組積造の建物を強化するための条令が議会で通過した。1994年に発生したノースリッジ地震では、組積造の建物が補強されたことにより、被害を大幅に減ずることができた。一方で、チルト・アップ構造やプレキャスト・コンクリートの駐車場における被害が大きいことが明らかとなり、これらの構造物は新たにレトロフィットの対象となることになった。

図5.1に補強された組積造の建築物の例を示す。



図5.1 補強された組積造建物

5.2 ノースリッジ地震の被害分析⁴⁰⁾

5.2.1 被害の概要

1994年1月17日の午前4時31分PSTに、アメリカ史上最も経済的損失の大きい災害が発生した。マグニチュード6.7(Mm=6.7,Ms=6.8)の地震は、ヴェンチュラ、ロサンゼルス、オレンジ郡への広範囲の被害となった。サンフェルナンド・バレーや周辺地域の中の至る所で、垂直と水平の両方向で、1000galを越える地表面加速度が計測された。人口の密集した都市地域に震源のある地震としてはアメリカ史上最大のマグニチュードの地震により、57人の死亡と、1,241人の入院が必要となった9,158人の負傷者が発生した。

ノースリッジ地震による建築物の地域別の被害状況を図5.2に示す。

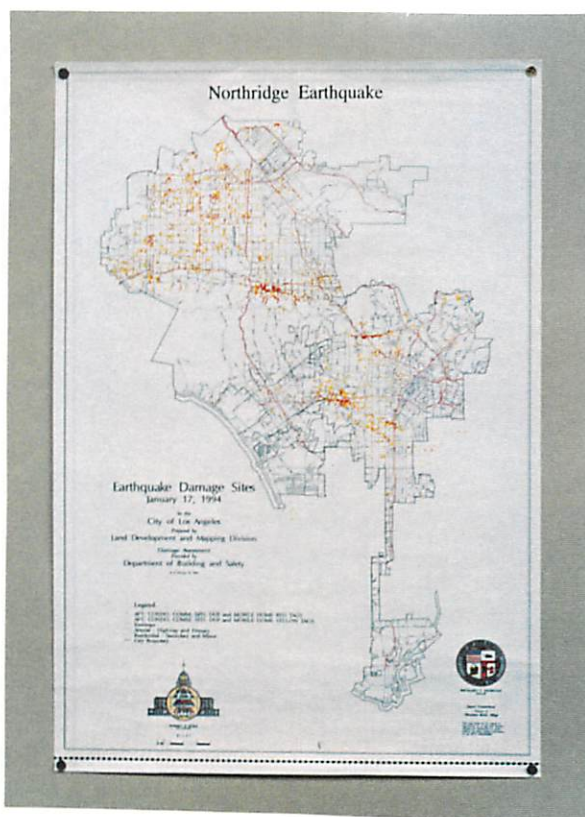


図5.2 ノースリッジ地震による被害状況

5.2.2 インスペクション結果の分析

地震発生後のインスペクション結果のデータは、検査の進行に応じて日々更新されており、今回入手したデータは94年4月6日現在のものである。インスペクション結果は、91,941件収録され、約17MBytesもの巨大なテキストデータとしてまとめられており、分析手段としては、大容量のファイルを高速に扱うために名古屋大学大型計算機センターのSASシステムを利用した。データの内容は、当該建築物の所在地、建築種別、被害率、修理費の見積もり、検査結果（前述の3区分）、L.A. Building Codeによる構造種別、建物の大きさ、階数、建設年、などである。検査結果の内訳は、UNSAFE 878件、LIMITED ENTRY 4,559件、INSPECTED 86,136件である。

建設年代と検査結果のグラフを図5.3に示す。ロングビーチ地震の起こった1933年を境にして、それ以前の古い建築物において、LIMITED ENTRYおよびUNSAFEの比率が高くなっている。これは、ロングビーチ地震後の1935年に、被害の教訓を生かして鉄筋などで補強していない組積造の建物の建設を禁止するなど、法律を改定した成果が現れた結果と考えられる。

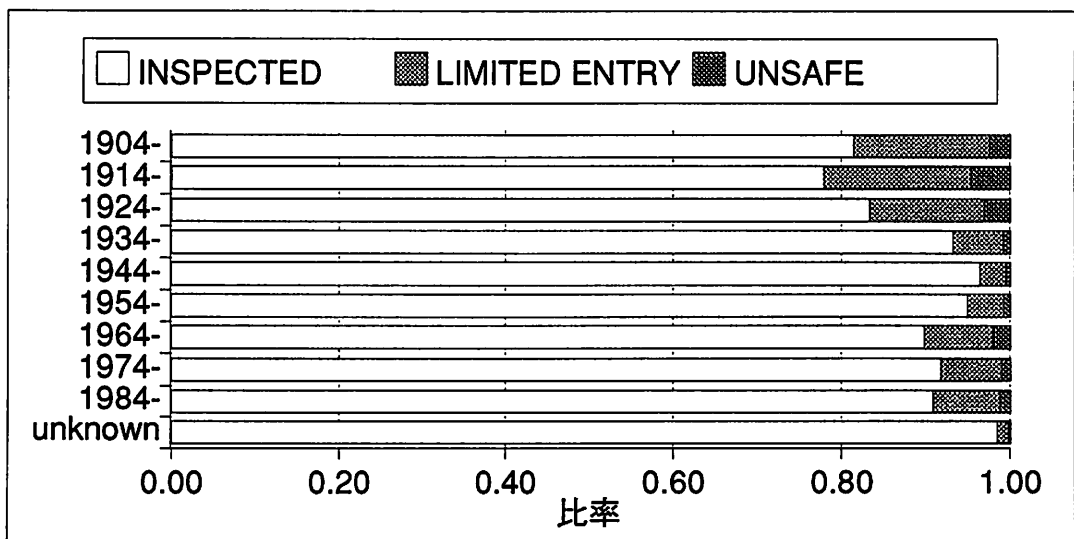


図5.3 建設年別のインスペクション結果

構造種別と検査結果のグラフを表5.1, 図5.6に示す。構造別では, ロングビーチ地震でも大きな被害を受けた無補強組積造 (URM : unreinforced masonry) やチルトアップ工法の建築物の被害が大きいことがわかる。一方, 文献3)によれば, 補強された組積造は, ロス市において1981年によりやく制定されたレトロフィット条例により, 当時約8,000あった無筋の組積造の建物のほとんどが鉄筋などで強化されたという成果により, 被害を大幅に押さえることができたという。

なお, ロス市の建築条例は基本的にはUniform Building Code によっている。図2の構造種別 I~V は構造耐火性の強さを代表している。I, IIは不燃材料, III~Vは可燃材料で構成され, 各部位 (外壁, 構造壁, 床, 屋根等) の耐火時間が決められている。(Iの方が耐火時間が長く, Vはほとんど耐火性がない) 建築物の用途が決まると, ある構造種別に対して建築可能な規模と高さ (建築不可を含む) が決まる。例えば, 50名以上の学校 (用途E-1) では構造種別IVは2階層以下, 床面積20,200ft²以下でなければならない。

表5.1 構造種別ごとの建物件数

構造種別	I	II	III	IV	V	URM	SB547	TLT-U
件数	638	229	2,579	408	83,829	1,373	49	125

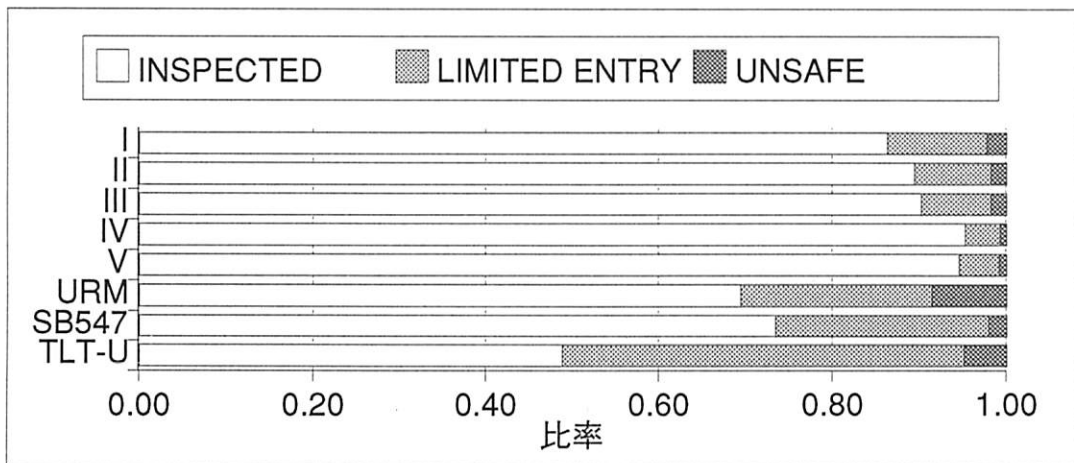


図5.4 構造種別ごとのインスペクション結果

建築種別と検査結果のグラフを図5.5に示す。建築種別では、駐車場の被害が目立っている。文献3)によれば、これには建築コードの欠陥の存在が指摘されており、今後、新たにレトロフィットの対象として含まれることになるであろう。

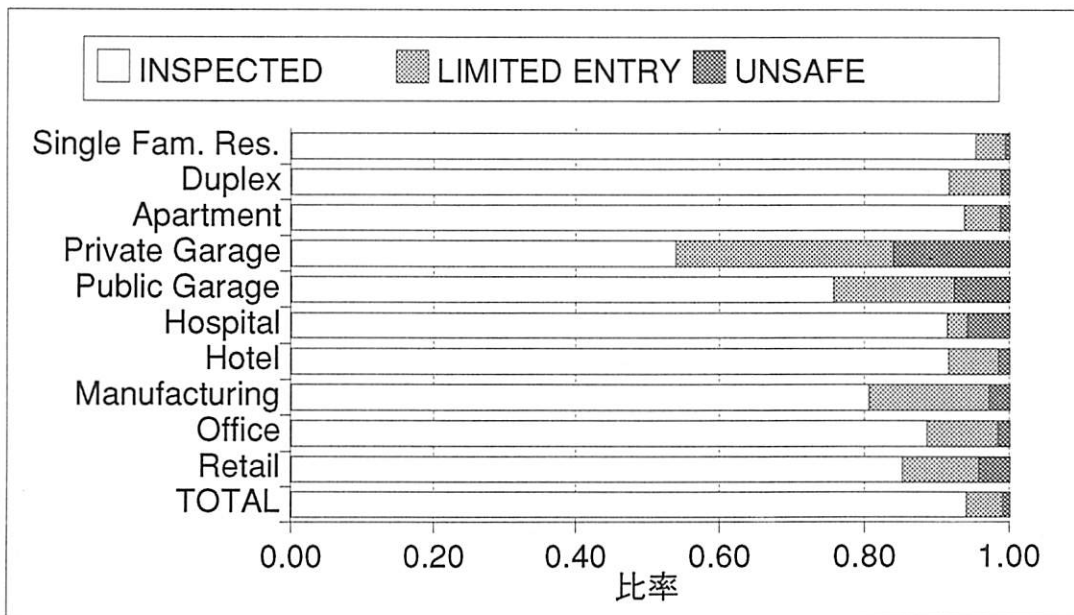


図5.5 建築種別ごとのインスペクション結果

5.3 まとめ

ロサンゼルス市では、過去の地震被害の教訓から、耐震性に問題のある建築物に対するレトロフィット（耐震補強）が、法律によって行われている。ノースリッジ地震のインスペクション結果でも、チルトアップ工法や駐車場構造物での被害が大きいたことが明らかとなり、新たにレトロフィットの対象となった。

阪神・淡路大震災では、地震発生後、被災した建築物による2次災害を防止するために、神戸市、尼崎市、西宮市、伊丹市、宝塚市、川西市、芦屋市、明石市、そして淡路地区で実施された。行政関係が行ったのは、まず1) 4階建て以上の建築物を対象として「使用禁止」建築物の指定、さらに2) 共同住宅を対象とした応急危険度判定であった。また、これとは別に3) 日本建築学会、日本都市計画学会、建築業協会などにおいて、被災状況などについての調査が行われた。

阪神・淡路大震災での応急危険度判定は、共同住宅を中心に行われた。ロサンゼルス市の地震時のインスペクションが、住民を避難所から家に帰らせることによって、復旧を早めることを目的としているのに対し、神戸市で行われた応急危険度判定では、2次災害防止という目的が強調され、使用禁止の指定が優先されていたと判断される。

第6章

まとめ

6.1 まとめ

阪神・淡路大震災による被害分析を中心にして、今後の都市地震防災において検討すべき課題を提示した。

第2章では建築構造基準の変遷について地震荷重に焦点をあてて説明し、構造設計で想定する地震動に明確な根拠がないことを示した。また、建築基準法における不遡及の原則と2次部材の安全性に関わる層間変形制限の規定とこれらの問題点について説明した。

第3章では阪神・淡路大震災による死亡リスクの構造の分析を行い、既存不適格建築物や老朽木造住宅において死亡リスクが高いことを示した。特に賃貸住宅のような公共性の高い建築物に対しては、不遡及の原則を越えて一定の耐震性を義務づけるなどの方法論が必要と考える。

第4章では阪神・淡路大震災による高層集合住宅の住戸扉の開閉障害に関する調査結果の分析を行い、住戸扉をはじめとする2次部材の耐震性に関して、人命の安全という原則から、地震による火災の発生など2次災害に対する考慮がどの程度必要かを検討した。

第5章ではロサンゼルス市のインスペクション制度の紹介とノースリッジ地震の

被害分析を行い、地震時のインスペクションの目的とロサンゼルス市で行われているレトロフィット（耐震補強）の有効性を明らかにした。

構造物の耐震性を考えるうえでは、単に地震に対する構造基準の強化だけではなく、構造基準のもとになっている地震力の考え方を再検討する必要がある。都市の耐震性という面では、既存不適格建築物や老朽木造住宅などの古い建築ストックの耐震改修や更新をいかに進めていくかが課題である。

6.2 今後の課題

阪神・淡路大震災の被害を受けて、1995年12月11日に建築構造基準関連の建設省告示が一部改正された。しかし、見直し幅は小さく、現行法で特に問題がないと判断された結果と考えられる。この見直しによって、新たに「既存不適格建築物」となる建物については、耐震診断による耐震安全性の確認作業が必要となろう。

1995年10月27日に、「建築物の耐震改修の促進に関する法律」が公布され、同年12月25日に施行された。この法律の中で、多数の者が利用する特定建築物の所有者に対して、耐震診断・耐震改修の実施の努力義務を課している。しかし、実際には努力義務ということだけでは、耐震改修にかかる費用などを考えれば、耐震改修は進まないと考えられる。具体的に、どのような地盤、年代、構造の建築物が危険であるか、その建築物をあと何年使用するか、などといったことから、現実的に対応すべきである。今後の都市地震防災の課題を、短期的課題と中・長期的課題に分けて検討する。

短期的課題としては、地震による死亡リスクを減少させることが最優先であると考えられる。人命の安全を守る、という最低限の安全性を確保できない「既存不適格建築物」に対して、耐震診断と必要に応じた改修を行い、建築基準の目標としている、大地震時における人命の安全を確保できる性能を持たせることが必要である。特に「特定建築物」に対しては、公共の福祉の観点から、耐震改修についてある程度の強制力を持たせる必要があると考えられる。これらの対策は、都市の耐震安全レベルの底上げを目標としている。

地震発生時に、現状では多数の建築物が倒壊することは避けられず、災害時救助、医療の問題は重要である。救命率が高いとされる地震発生後72時間以内は、救命活動を最優先させて、死亡者の発生を最小限にとどめる必要がある。

地震発生後には、倒壊に至らないまでも、その後の余震などで倒壊の恐れのある建築物が多数存在し、2次災害による人命の損失の恐れがある。これらの建築物の使用者に対して、建築物内への立入を誰にでもわかる方法で制限する必要がある。また、建築物が安全であることを明示することによって、住民が避難所から自宅に戻し、復旧活動をより円滑に行うようなくみが必要である。これらを行うのが応急危険度判定であり、危険、あるいは立入に制限が必要と判断される建築物に対しては、耐震補修、補強により安全性が確保されるまで、継続して検査するようなくみにすべきである。

中・長期的課題としては、地震防災全般において、想定すべき地震動の強さを見直すべきである。地域防災計画において、「過去数十～数百年の間に、その地域で

発生した最大の地震」では無意味である。特に、震度V程度を想定しても、実際には大した被害が発生しないことから、対策にはつながらず、想定以上の地震が発生したときに、防災計画が全く意味をなさない、という事態となる。建築基準においては、現行基準で想定している揺れより大きな揺れが現実には発生していることから、想定すべき地震動の強さは工学的には不確定だが、現行構造基準の想定は要求される最低限の水準であると判断される。

要求する耐震安全性能は、社会の受容リスクの側面から検討することが望ましいが、耐用年数内に数回程度発生するような地震に対しては、機能を維持できること、耐用年数内に1回発生するかもしれない大地震に対しては、人命の安全を図るという目標は合理的であると判断される。これを、地震直後の出火による避難を想定するなど、構造体の耐震安全性だけでは確保できない、扉などの非構造部材や消火設備や避難階段などの防災設備といった側面からの人命の安全の確保も検討すべきである。これには、計画段階から、避難経路や防災設備の設置方法についての検討が必要である。

病院などの地震発生後の救援、復旧活動の拠点となるような重要な建築物については、大地震時においても機能の維持を前提とすることが必要である。また、一般の建築物についても、マンションや住宅の建替に伴うコスト発生が問題となったことから、大地震時においても、財産としての建築物の保持を検討すべき段階に来ていると考えられる。この水準の性能を要求するかどうかは、ユーザの判断にまかせられる。

これらを実現するには、仕様規定から性能規定への移行と、これらの性能を保証するようなシステムの導入が必要である。特に現状では、設計・施工不良により、仕様にさえ従っていない例が存在することから、このような不良建築物を排除するためにも必要である。

謝辞

本論文をまとめるにあたって、筆の進みが遅い私を叱咤激励してくださり、また、指導教官としてつねに適切な助言をしていただきました辻本 誠教授に感謝いたします。お忙しい中、論文の審査に加わっていただきました、名古屋における都市地震防災研究の第一人者である福和伸夫助教授、今年度、理工科学総合研究センターに赴任してこられた奥宮正哉助教授に感謝します。福和先生には、KOBEnetの情報はじめ、地震防災研究に関わるさまざまな情報を提供していただき、たいへん論文の参考になりました。奥宮先生には、環境工学セミナーの時間に論文の内容について助言をいただきました。

層間変形制限成立の経緯に関する私の質問に答えて下さり、たくさんの資料を下さった、「日本建築構造基準変遷史」の著者であられる建設省建築研究所の大橋雄二先生に感謝いたします。

阪神・淡路大震災の被害調査に協力していただいた防災安全工学講座の皆様感謝いたします。特に、住戸扉の開閉障害に関するアンケート調査については中平和孝君に、また、東灘区における死亡リスクの調査については恒吉美季さんにご協力いただきました。重ねて感謝いたします。中平君、恒吉さんには、今の研究をさらに進めていただき、この論文のささやかな内容を越えるような大きな成果を収めていただきたいと思います。

最後に、普通の人より少し長い期間にわたる大学生活になりましたが、この間、精神的、金銭的な面で私を支え続けて下さいました母と父に感謝いたします。

参考文献

- 1) 「非構造部材の耐震設計指針・同解説および耐震設計・施工要領」, 日本建築学会, 1985
- 2) 「日本建築構造規準変遷史」, 大橋雄二著, 日本建築センター, 1993
- 3) 「巨大地震と大東京圏」, 望月利男, 中野尊正編, 日本評論社, 1990
- 4) 「大震災100日の軌跡」, 神戸大学震災研究会編, 神戸新聞総合出版センター, 1995
- 5) 「新編日本の活断層—分布図と資料」, 活断層研究会編, 東京大学出版会, 1991
- 6) 「理科年表 平成6年」, 国立天文台編, 丸善, 1993
- 7) 「日経アーキテクチュア」, 1996年1月15日号
- 8) 「平成7年兵庫県南部地震被害調査中間報告書」, 建設省建築研究所, 1995.8
- 9) 「平成2年国勢調査」, 1991
- 10) 「最新耐震構造解析」, 柴田明德著, 森北出版, 1981
- 11) 「ビオシティ」, 1995 No.4, ビオシティ
- 12) 「神戸市町別世帯数・年齢別人口 —平成2年国勢調査結果—」, 神戸市企画調整局企画部総合計画課, 1991
- 13) 「平成5年住宅統計調査報告第3巻都道府県編その28兵庫県」 総務庁統計局, 1994
- 14) 「1996年版住宅白書 阪神・淡路大震災と住まい」, 日本住宅会議編, ドメス出版, 1996
- 15) 「神戸市住民基本台帳」, 1995年1月
- 16) 「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」, 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, 1995
- 17) 「阪神大震災写真集 被災した集合住宅」, 新日本建築家協会関東甲信越支部技術部会メンテナンス分科会編, テツアドー出版, 1995
- 18) 「阪神大震災に学ぶ 地震に強い建築の設計ポイント」, 建築知識95年5月増刊号, 建築知識, 1995
- 19) 「建築物防火対策被害調査 第一次報告」, 日本建築学会拡大防火委員会, 1995.3
- 20) 「8階建壁式鉄筋コンクリート造アパートの耐震性に関する実大破壊実験（その9：ドア耐震性に関する実験概要及結果）」, 後藤哲朗, 広沢雅也, 山下一

- 也，石塚忠行，日本建築学会大会学術講演梗概集，1981
- 21) 「8階建壁式鉄筋コンクリート造アパートの耐震性に関する実大破壊実験（その10：ドア耐震性に関する実験概要の検討）」，後藤哲朗，広沢雅也，山下一也，日本建築学会大会学術講演梗概集，1981
 - 22) 「非構造部材の耐震安全性－実大建物の耐震実験結果－」，伊藤 弘，建築技術1983年12月号
 - 23) 「阪神大震災（兵庫県南部地震）調査報告－第3報－」，竹中工務店，1995.3
 - 24) 「平成7年兵庫県南部地震被害調査報告書（第二報）」，鹿島，1995.3
 - 25) 「1995年兵庫県南部地震設備系被害調査報告書」，清水建設，1995.3
 - 26) 「阪神・淡路大震災に学ぶ シンポジウム」，日本建築学会東海支部構造委員会，1995.4
 - 27) 「阪神大震災設備被害調査報告会（速報）」，空気調和・衛生工学会，1995.6
 - 28) 「1978年宮城県沖地震災害調査報告」，日本建築学会，1980
 - 29) 「平成7年兵庫県南部地震被害調査報告（速報）」，建設省建築研究所，1995.2
 - 30) 「阪神・淡路大震災時の火災の延焼状況調査報告書」，地域環境防災研究所，1995.3
 - 31) 「平成7年兵庫県南部地震災害現況図」，国土地理院，1995.1
 - 32) 「耐震基準における層間変形制限規定の成立に至る経緯」，大橋雄二，日本建築学会大会，1995
 - 33) 「大都市を襲う地震災害と地震防災の課題」，第1回地震防災シンポジウム，日本建築学会，1994.10
 - 34) "Northridge Earthquake January 17, 1994, PRELIMINARY RECONNAISSANCE REPORT", Earthquake Engineering Research Institute, 1994.3
 - 35) 「大都市と巨大災害－ロサンゼルス市に学ぶ－」，（財）日本建築設備安全センター，1994.9
 - 36) 「1994年ノースリッジ地震災害調査速報」，（社）日本建築学会 ノースリッジ地震災害調査団，1994.4
 - 37) 「平成7年兵庫県南部地震被害調査中間報告書」，建設省建築研究所，1995.8
 - 38) 「阪神・淡路大震災調査報告書－平成7年兵庫県南部地震東京都調査団－」，東京都，1995.7
 - 39) 「『兵庫県南部地震』について」，兵庫県都市住宅部建築指導課，1995

- 40) 「ロサンゼルス市のインスペクション制度とノースリッジ地震の被害分析」, 大平久司, 東 繁, 辻本 誠, 日本建築学会東海支部, 1994
 - 41) 「阪神・淡路大震災における高層集合住宅の扉の開閉障害と出火率に関する研究」, 大平久司, 辻本 誠, 日本建築学会大会, 1995
 - 42) 「阪神・淡路大震災に関わる新聞情報の活用のためのデータベース構築」, 八木茂治, 大平久司, 福和伸夫, 小出栄治, 荒川政知, 西阪理永, 日本建築学会大会, 1995
 - 43) 「阪神・淡路大震災における賃貸住宅の死亡リスク」, 恒吉美季, 大平久司, 辻本 誠, 江本哲也, 日本建築学会東海支部, 1996 (投稿中)
 - 44) 「阪神・淡路大震災による扉の開閉障害と避難行動に関する研究」, 中平和孝, 大平久司, 辻本 誠, 日本建築学会東海支部, 1996 (投稿中)
 - 45) 「都市地震防災に関わるデータベースの統合的活用法の構築に関する研究」, 大平久司, 名古屋大学工学部建築学科卒業論文, 1994
 - 46) 「都市地震防災支援のためのオブジェクト指向データベースの構築・活用に関する研究」, 石田栄介, 大平久司, 福和伸夫, 小磯利博, 多賀直恒, 日本建築学会情報工学利用? シンポジウム, 1994
 - 47) 「オブジェクト指向による構造物-地盤系の地震応答解析に関する研究」, 石田栄介, 福和伸夫, 小磯利博, 大平久司, 山田耕司, 日本建築学会大会, 1995
- 他) 「朝日新聞」, 「毎日新聞」, 「中日新聞」, 「日本経済新聞」, 「読売新聞」の各新聞, 「週刊朝日」, 「サンデー毎日」の各雑誌, 「ゼンリン地図」