

1995年兵庫県南部地震による 宝塚・芦屋における建物被害の分布特性

北原 昭男・藤原 悌三・鈴木 祥之

Distribution Characteristics of Building Damage at Ashiya and Takarazuka Cities Due to the 1995 Hyogoken-nambu Earthquake

By *Akio KITAHARA, Teizo FUJIWARA and Yoshiyuki SUZUKI*

Synopsis

A large number of buildings suffered severe damage due to the 1995 Hyogoken-nambu earthquake. In this paper, distribution of damage to buildings was shown based on the statistical damage data. A primary factor of building damage was also investigated from both side of building structure and input motion strength. Damage was strongly affected by the kind and oldness of buildings. A lot of old wooden houses with heavy roof ware suffered severe damage. In addition, it made clear that distance to nearest fault and surface soil condition also affect distribution of damage to buildings.

Distribution of Human damage was also shown based on the statistical data in this paper. Number of dead person at every site strongly related to the number of clapsed wooden buildings.

1. はじめに

1995年1月17日未明に発生した兵庫県南部地震により建物は大きな被害を受け多くの人命が失われた。また、建物被害は延焼火災の発生や交通遮断の原因ともなり、地域社会に大きな影響を与えた¹⁻⁴⁾。この状況を鑑みると、建物被害を軽減していくことは、都市域における複合災害の発生を低減し都市総体の地震被害を軽減させることにつながる。そのためにも、建物の耐震性を向上していくことが必要不可欠となるが、今回の地震による建物被害分布に影響を及ぼした要因を明らかにし、建物被害の発生メカニズムを解明していくことはこのような耐震性向上のためには非常に役に立つものと考えられる。

本研究では、今回の地震で大きな被害を受けた宝塚市および芦屋市の建物被害分布をもとに、建物被害の特徴についてふれ、構造物の特性および地盤条件などの地域特性が被害に及ぼした影響について考察する。

2. 宝塚における建物被害

2.1 被害分布の特徴

宝塚市は阪神間の都市圏の最北部にある人口20数万の中都市である。被害の最も激しかった神戸・芦屋からはやや離れているものの、今回の地震で建物の全壊は1339棟、死者数は87人に達している(1995.2.19現在)。

宝塚市ではほぼ全数の建物について地震による損壊率が調査されている。損壊率は調査シートに基づいて判定された構造各部の被害の評点を合計したものである。また、建物種別や建設年代などと共に損壊率が整理されている。ここでは、このデータに基づき各町丁ごとに全建物の損壊率の平均値を求めて Fig. 1 の地図上に示した。○が大きい方がその町の被害が大きいことを表している。被害は北部の東西に連なる帯状の地域、南部の一部地域に集中していることがわかる。このような分布がどのような原因で生じたかを知ることが建物被害発生メカニズムを探る手がかりとなる。被害分布に影響を及ぼす2つの要因（構造物側の要因と地域的な地盤・地質条件）について以下に述べる。

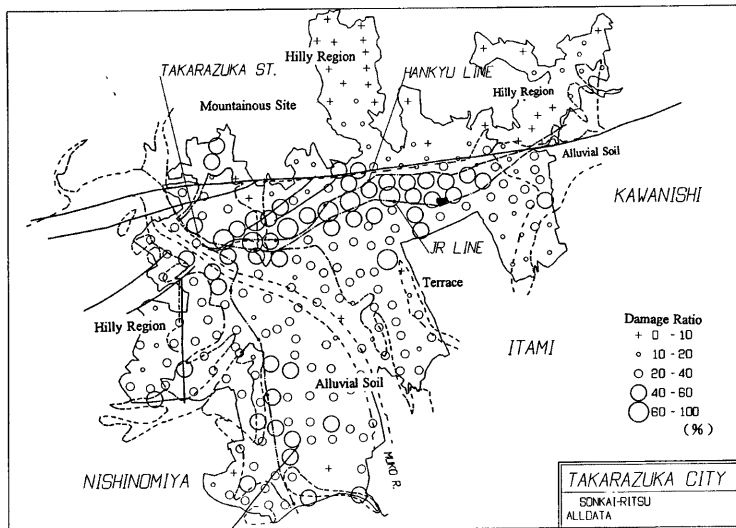


Fig. 1 Distribution of building damage and location of faults at Takarazuka City

2.2 構造物の特性と建物被害

本来ならば、建物の耐震性を詳細に評価し、被害程度と比べていかなければならないが、個々の建物について耐震性を評価していくことは困難であるので、ここでは被害データに含まれる建物に関する項目（構造種別、建物階数、建設年など）によって間接的に評価する。

Fig. 2 には上記のデータに基づいて木造、鉄筋コンクリート造などの構造種別と被害の関係を示す。ここで、記号 W (S-H) は在来軸組工法に木造建物で屋根の重いもの、W (S-L) は同じく屋根の軽いもの、W (P) は枠組壁構法などを含むプレハブ工法による木造建物、RC は鉄筋コンクリート構造物、S は通常の鉄骨造建物、S (P) はプレハブ工法による鉄骨造建物、M は組積造建物をそれぞれ示している。なお、図中では上記損壊率に応じて、各建物の被害を無被害から全壊までの被害程度に読み変えている。この図より構造種別によって被害の程度が大きく異なっていることが読みとれる。特に、木造建物では屋根の重いものは軽いものに比べ被害程度が大きい。また、プレハブ造の建物の被害は非常に小さく全壊はほとんど発生していない。一方、非木造建物では、総体的には木造在来工法の建物よりは被害程度は軽かったものの、その中で組積造、鉄骨造がやや被害レベルが大きかった。

Fig. 3 には重い屋根を持った在来工法による2階建て木造建物に関して、建設年代と被害の関係を示し

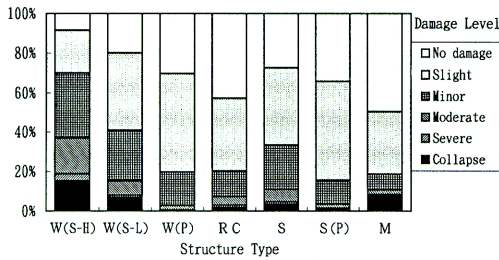


Fig. 2 Damage distribution with every structure types (Takarazuka)

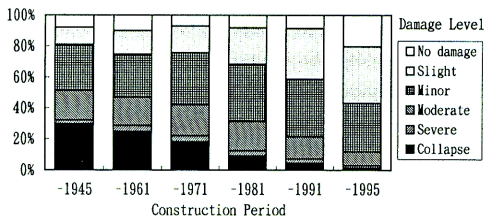


Fig. 3 Damage distribution with every construction period (wooden building, Takarazuka)

た。図より明らかなように建設年代が新しくなるほど被害が小さくなっており、1982年以後（耐震設計法が改訂された後）に建てられた建物には大きな被害はほとんど発生していない。建設年代と被害にこのような関係が生じたのは2つの理由が考えられる。1つは建物の設計法・施工法が年を追って向上し、建物の地震に対する性能が高まってきたこと、もう1つは建設年代が古いほど建物の部材が腐朽したり、白蟻に食われたりして弱くなっていることである。

Fig. 4には鉄筋コンクリート構造物に関して、被害と建設年代・建物階数との関係を示す。建設年代との関係では木造と同様右下がり関係が見られるが、その中で1962年から1971年にかけて建てられた建物の被害がやや大きくなっている。この傾向は鉄骨造の建物に関しても同様であった。この時期はちょうど日本経済が高度成長期に入り建物建設が急激に進められた時期である。この時期の建物はその前後の建物よりも質が落ちている可能性を示しており、早急に耐震診断を行うと共に、弱点を補強していく必要があろう。建物階数では重い被害は6-9階建ての中層建物で最も多く、中程度の被害は10階建て以上の建物で多く発生している。

宝塚市の歴史的・地理的な発展の過程において、建物分布（例えば木造建物の割合、古い建物の割合など）は刻々と変化している。その一例としてFig. 5には宝塚市の各町丁における木造建物のうち1971年以前に建てられたものの比率を示す。東西の鉄道に沿った地域、および南部の一部地域に集中していることが見て取れる。逆に、北部の丘陵地や南部の住宅地には古い建物は少ない。また、Fig. 1に示した被害分布と古い木造建物の分布はかなり良く似た傾向を示している。被害程度は上述のように構造種別や建物の新旧により大きく異なるため、各町の建物の分布に応じてある程度被害の分布が予測されているものと考えられる。

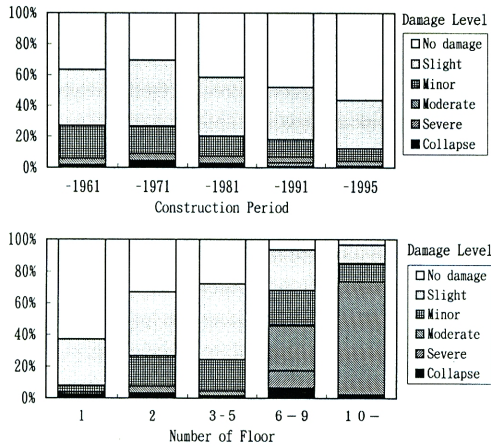


Fig. 4 Damage distribution related to the construction period and number of floor (RC building, Takarazuka)

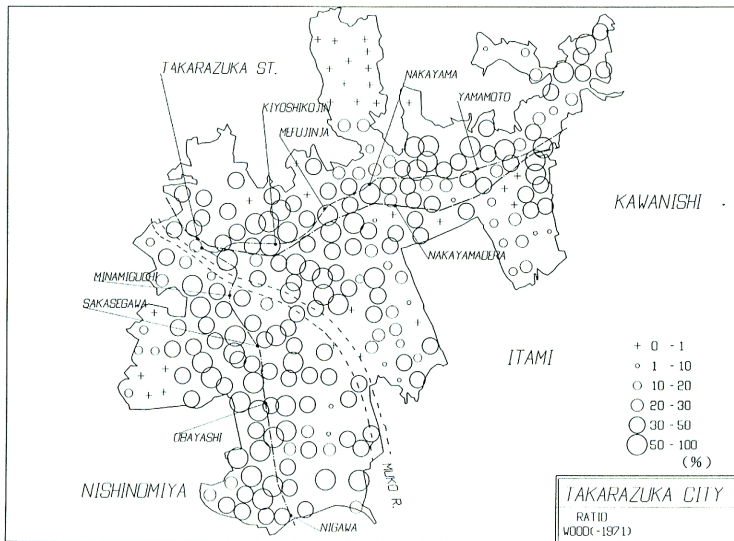


Fig. 5 Ratio of wooden building built before 1971

2.3 地盤・地質条件と建物被害

Fig. 1 中に太い実線で示したものは宝塚周辺の活断層の位置⁵⁾である。また、点線は地質の境界 (山地・丘陵地、河岸段丘、沖積低地) を示している。北部の東西に伸びる大きな断層 (有馬-高槻構造線) の

北部は丘陵地で硬い岩盤上にある。同様に宝塚の西部にある南北の断層周辺も丘陵地である。その内側は武庫川などによる堆積地が広がっている。

上記の地域条件と被害の分布を比べると、まず、丘陵地では被害が非常に小さいことが明らかである。一方、堆積地では被害の分布は一様ではないが、被害の大きい地域は東西及び南北の断層の堆積地側に沿っているように見える。今回の地震ではこの周辺の断層は動いていない（地震を発生していない）と言われており、断層と被害の直接的な関係は考えにくい。しかし、断層の周辺では深層基盤構造（岩盤の深さ）が急変しているものと考えられ、このようなことが被害分布に影響していると推定される。

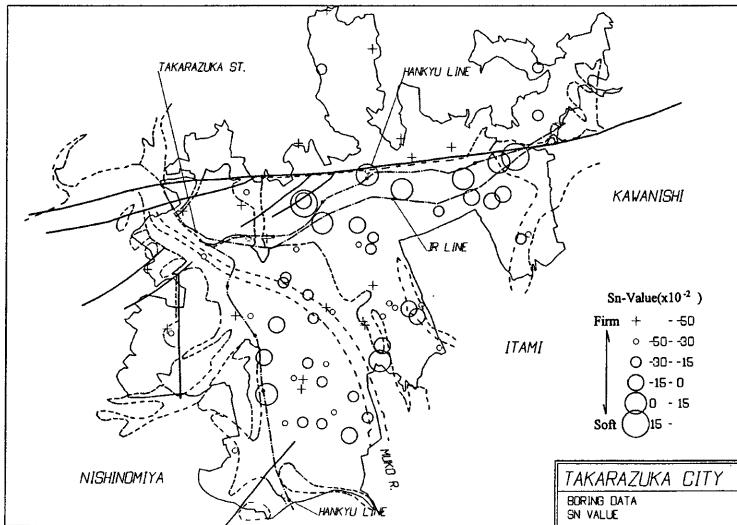


Fig. 6 Softness of surface soil

Fig. 6には、表層の地盤（地表より数十m以内の地盤）の平均的な柔らかさを示す指標Sn値を、既存のボーリングデータをもとに杉戸・亀田らの手法⁶⁾により求め示している。○の大きい方が軟らかい地盤を示す。丘陵地では当然表層の地盤は硬いが、堆積地では様々に変化する。被害の大きかった地域は表層地盤の柔らかい地域とはほぼ一致しており、被害と表層地盤の軟弱さとの関連性が見いだされる。宝塚の場合、基盤岩の深さが急変する地域と表層地盤の軟弱な地域がほぼ一致しており、また、その地域が古い木造建物の多く存在する地域であったため、神戸市周辺の被害集中域からかなり離れているにも関わらず、震度7の被害が局所的に発生したものと推測される。しかし、これらの要因のどれが被害により大きな影響を及ぼしているかは即断できず、今後の詳細な検討が必要である。

Fig. 7には在来工法による屋根の重い2階建て木造建物に限定して、平均損壊率が50%を越える町丁を图示した。○は1971年以前に建てられた物のみ、◎は1981年以前の物のみ、●はすべての建物で50%を越えた町を示す。Fig. 3より建設年代と建物の耐震性には相関があることがわかっているので、この関係を考慮すると●の地域が最も地震の破壊力が強く、◎○の順に小さくなっていくと判断できよう。この様に見ると、被害の帯の中でも地震動が強くほとんどの建物が被害を受けた地域と、地震動はそれほど強

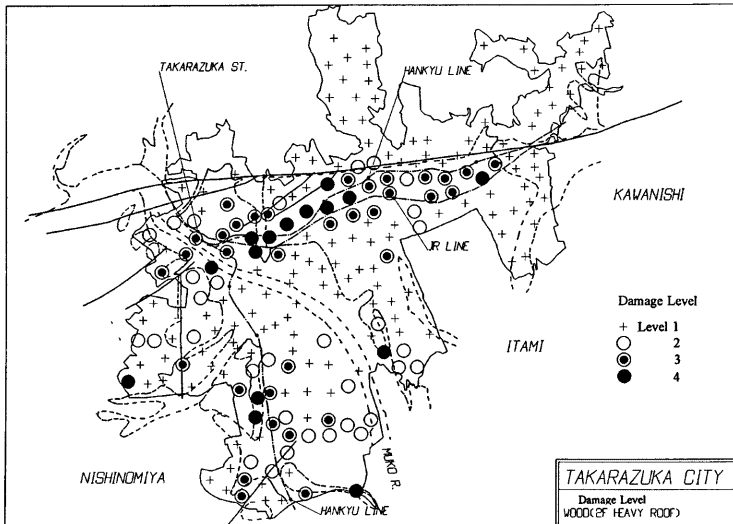


Fig. 7 Damage level of wooden building (2F, heavy roof) at every site of Takarazuka

くなく耐震性の低い建物のみが被害を受けた地域が混在することがわかる。地域の防災の為にこの様なきわめてローカルな地震動の変化についてもその原因について調べていく必要があろう。

3. 芦屋における建物被害

3.1 被害分布の特徴

芦屋市は阪神間にある人口10万程度の都市である。被害の最も激しかった地域に含まれ、今回の地震で建物の全壊は2543棟、死者数は406人に達している(1995.2.19現在)。芦屋市ではほぼ全数の建物について、地震による被害程度が全壊・半壊・一部壊・無被害の4ランクに分けて調査されており、建物の構造種別や用途などと共に整理されている。ここでは、このデータに基づき各町ごとの全建物に関する全壊率を求めてFig. 8の地図上に示した。○が大きい方がその町の全壊率が大きいことを表している。被害は一般に言われているように、阪急沿線から阪神沿線に至る地域に集中し、特に西部の地域では全壊率が75%を越えていることがわかる。

被害分布に影響を及ぼす構造物側の要因と地域的な地盤・地質条件について以下に述べる。

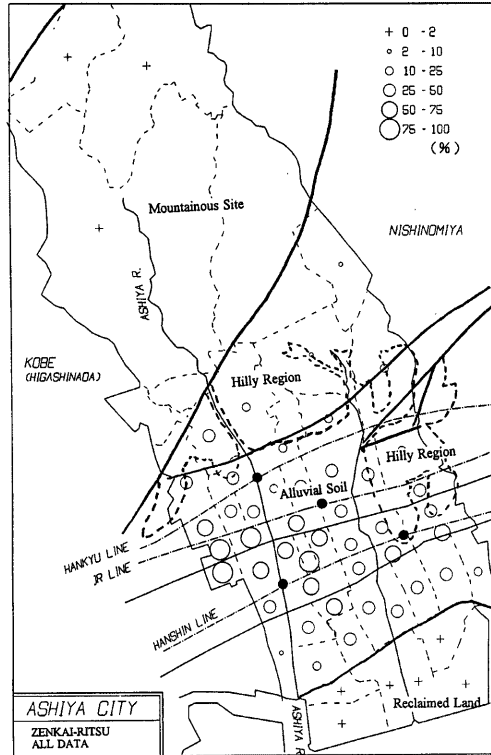


Fig. 8 Distribution of building damage and location of faults at Ashiya City

3.2 構造物の特性と建物被害

Fig. 9 には上記のデータに基づいて木造、鉄筋コンクリート造などの構造種別と被害レベルの関係を示す。図中の記号は宝塚の場合と同様である。宝塚市と同様、構造種別によって被害の程度が大きく異なっていることが読みとれる。ただし、宝塚に比べると被害程度は全般的に高い。木造建物では、屋根の重いものは軽いものに比べ程度被害が大きい。また、プレハブ造の建物の被害は相対的に小さく、全壊はほとんど発生していない。一方、非木造では鉄骨造の全壊率がかなり高いことが読みとれる。鉄筋コンクリートの重い被害は比較的少なかった。

Fig. 10 には在来工法による重い屋根を持った2階建て木造建物に限定して、その建物の建設年代と被害レベルの関係を示した。図より明らかなように建設年代が新しくなるほど被害が小さくなっている。しかし、1982年以後に建てられた建物にも若干ながら大きな被害が発生している。一方、Fig. 11には鉄筋コンクリート構造の建物について被害レベルと建設年代・建物階数との関係を示すが、全般的に宝塚市と同様の傾向を示している。各年代の中で1962年から1971年にかけて建てられた建物に重い被害が集中していることがわかる。新耐震設計法施行後の建物の被害程度はやや小さくなっているものの、急激に小さくなる傾向は示していない。建物階数との関係では、6-9階建ての中層建物に重い被害は多く、10階建て以上の高

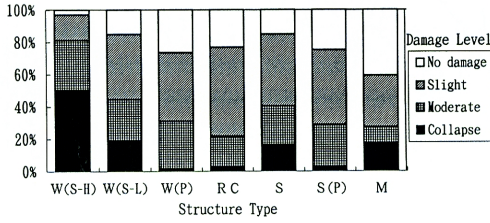


Fig. 9 Damage distribution with every structure types (Ashiya)

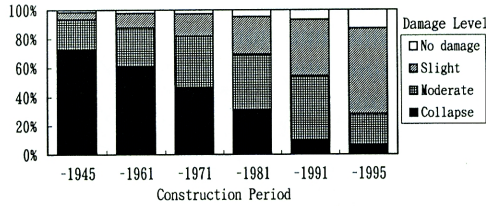


Fig. 10 Damage distribution with every construction period (wooden building, Ashiya)

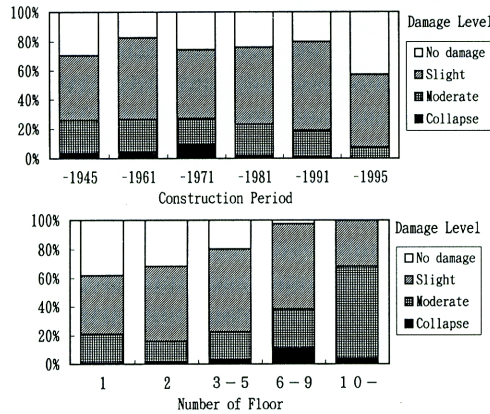


Fig. 11 Damage distribution with every construction period and Number of floor (RC building, Ashiya)

層建物には中程度の被害が多く発生していることがわかる。

最後に、Fig. 12 に各町における 1961 年以前に建てられた古い木造建物の比率を示す。阪急沿線から阪神沿線にかけては古い建物の率が 50% を越す町が多い。一方、北部の丘陵地や南部の埋立地にある新しい住宅地では古い建物は皆無か、非常に少ない。古い建物の分布は、宝塚と同様に Fig. 8 に示した被害分布とかなりの一致を示している。建物の工法や古さなどで表される構造物の耐震性が被害分布に及ぼす影響が大きいことが明らかである。

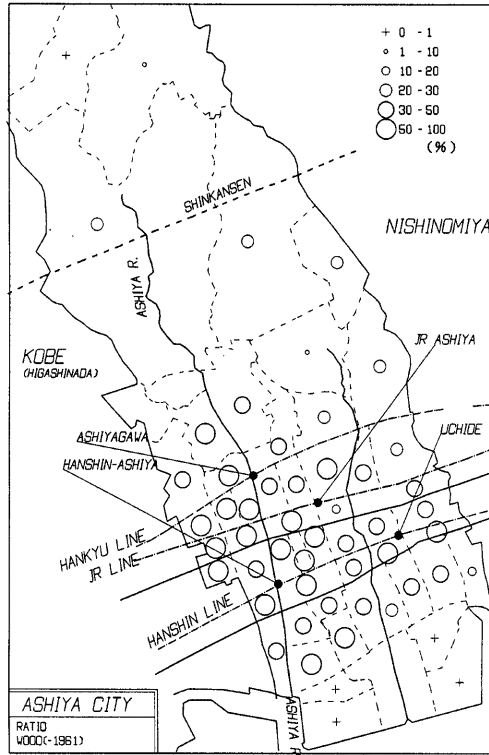


Fig. 12 Ratio of wooden building built before 1961

3.3 地盤・地質条件と建物被害

Fig. 8 中に太い実線で示したものは芦屋周辺の活断層の位置⁷⁾である。また、太い点線で示したものは地質の境界（山地・丘陵地，河岸段丘，沖積低地）を示している。今回の地震発生に関連していると考えられる五助橋断層は市の最北部を通過しており被害地域からは遠い。また，市中央には芦屋断層，甲陽断層が走っており，この2本の断層で地質も大きく分けられている。市の北部は山地の硬い岩盤上にある。その南側に洪積地盤上の丘陵地が広がり，さらに南部は芦屋川などによる沖積低地が広がると共に，南に行くほどその沖積層の厚さは厚くなっている。最南部には埋立地が広がっている。

上記の地域的な条件と被害の分布を比べると，まず，山地では被害が非常に小さいことが明らかである。丘陵地では被害はやや増えるもののそれほど大きくない。一方，堆積地では明らかに被害が大きく，特に，JR 沿線を中心に被害が広がっている。しかしながら，それより浜側の沖積地・埋立地では被害は小さくなっていく。この様な被害分布を見ると，被害の大きい地域は東西方向の断層から堆積地側にある程度離れた線に沿っているようにも見える。やはり芦屋においても，深層基盤の構造の変化が被害分布に影響していることが考えられる。

市内各地点で得られた既存のボーリングデータを見ると，北部の山地・丘陵地では表層の柔い層は極薄い，沖積層では南に行くほど軟弱層の厚さが厚くなっていることがわかる。これらの表層の軟弱層が地震

被害に影響していることも考えられるが、浜に近い地区では軟弱層が非常に厚いにもかかわらず、被害はそれほど大きくはなっていない。中間の軟弱な層の地震応答が大きく非線形領域に入り、かえって地震動の強度が低減された可能性も考えられる。また、地盤の液状化による入力地震動の低減の可能性も考えられる。しかし、データが少ないために現状ではこれ以上の分析は不可能である。応答解析などの結果を参考にして詳細な分析を行っていく必要があろう。

Fig. 13には屋根の重い2階建て木造建物に限定して、1971年以前および1982年以後に建てられた建物毎に全壊率を図示した。1971年以前に建てられた建物の被害は鉄道沿線に広く分布しているのに対し、年代が新しくなると被害の区域は小さくなる。新耐震以後(1982年以後)の建物では、大きな被害は芦屋川周辺、JR以南のいくつかの町に限られている。この地域が最も木造に対する入力地震エネルギーが大きかったものと考えられる。特に、芦屋川以西の2つの町では新しい建物でも全壊率が75%を越えている。一方、Fig. 14には木造プレハブ造の全壊率分布を示すが被害レベルはかなり小さい。しかし、分布特性は在来工法と変わらず、芦屋川以西の2町では全壊率は25%を越えている。

鉄筋コンクリート造建物の被害に関して、新耐震以前の建物の全壊率分布をFig. 15に示す。被害程度は木造に比べ小さいものの鉄道沿線に広く分布しており、木造建物とは異なった傾向をしている。逆に鉄骨造建物の被害は木造建物と同様の分布を示しており、新しい建物でも芦屋川以西の2町では被害は相当数出ている。鉄筋コンクリート造低層建物の固有振動数は木造や鉄骨造の建物の振動数よりはかなり高く、地盤の振動特性との関係から上記のような被害分布の差となって現れた可能性も考えられる。

上記の考察より、建物被害は建物の耐震性に強く影響されつつも、対象とする地点の地震動の強度や振動数特性にも非常に強く影響を受けていることが明らかとなった。

4. 建物被害と人的被害の関係

上述の建物被害分布と人的被害の分布を比較するため、95年3月23日現在の宝塚市および芦屋市における死亡者リスト(朝日新聞調べ)をもとに、各町丁別の死者数をまとめた。

宝塚市における死亡者は3月23日の段階で男27名、女53名の計80名であった。その男女別・年齢別の分布をFig. 16上に示す。60歳以上の高齢者の被害が多くみられる。高齢者は、行動力・判断力・体力などにややハンディがあり、他の年齢層よりも被害が大きくなったものと考えられる。それについて25歳以下の若年者の被害が目立つ。また、全般的に女性の被害が多く、壮年の男性の死亡者はほとんどなかった。

芦屋市における死亡者は男138名、女237名、性別不詳3名の計378名であった。その男女別・年齢別の分布をFig. 16下に示す。宝塚と同様、50歳以上の高齢者、特に女性の被害が多い。また、25歳以下の若年者の被害もやや多かった。

Fig. 17には宝塚における各町丁毎の死亡者の分布を示す。死亡者の分布は大きく分けて3つに分けられる。1つは阪急・JR沿線の地域で、中山駅から山本駅にかけて、および宝塚駅から清荒神駅にかけて分布している。特に星の荘では10名を数えている。他には南部の今津線仁川駅近辺に分布している。この分布状況と木造建物の被害状況(Fig. 7)を比べると、建物の被害程度と死亡者の分布がよく一致していることがわかる。

一方、Fig. 18には芦屋における各町毎の死亡者の分布を示す。被害は阪急・JR・阪神沿線の地域に集中しており、特に西部の津知町周辺では20名を越す死者が発生している。北部の丘陵地、南部の埋め立て地では死者は発生していない。この分布状況と木造建物の被害状況(Fig. 13)を比べると、やはり建物の被害程度と死亡者の分布がかなり一致していることがわかる。

ここでは、建物の被害程度と死亡者発生との関係を調べるために、木造住宅の倒壊棟数(宝塚では損壊率が100%とされた建物の数、芦屋では全壊と判定された建物の数)と死亡者数の関係を各町丁別に求め、Fig. 19に宝塚は黒丸、芦屋は白丸で示した。ばらつきはかなりあるものの、被害が大きい町丁での相関は

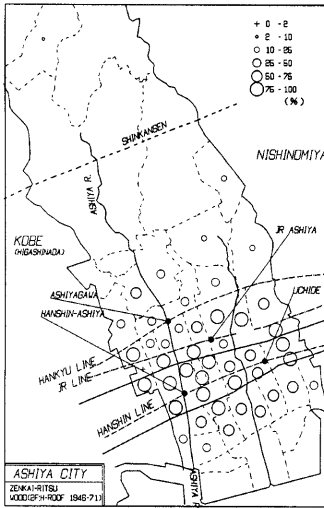


Fig. 13 (a) Damage distribution of wooden building (2F, heavy roof, built before 1971)

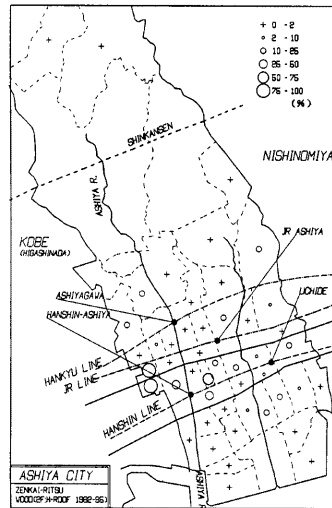


Fig. 13 (b) Damage distribution of wooden building (2F, heavy roof, built after 1982)

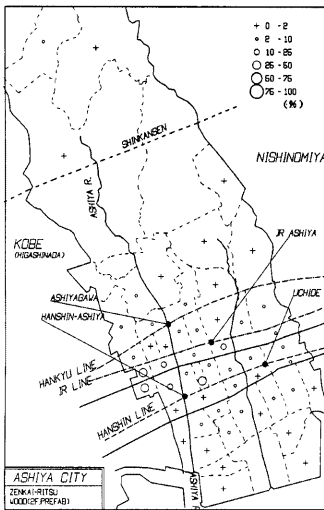


Fig. 14 Damage distribution of wooden building (2F, prefab)

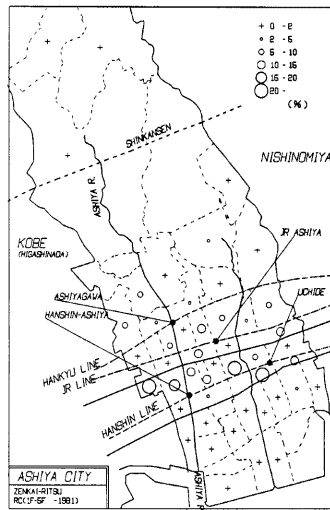


Fig. 15 Damage distribution of reinforced concrete building (1-5F, built before 1981)

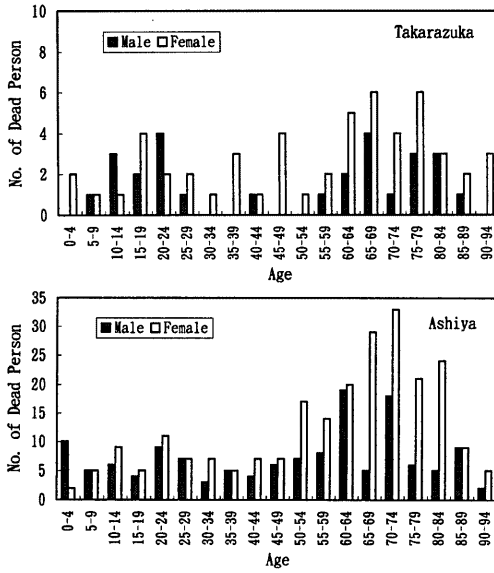


Fig. 16 Age and sexuality of Dead person

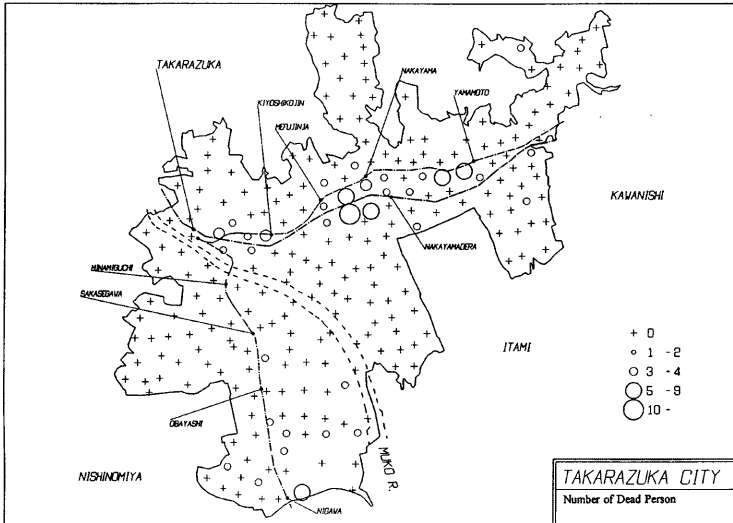


Fig. 17 Distribution of human damage (Takarazuka)

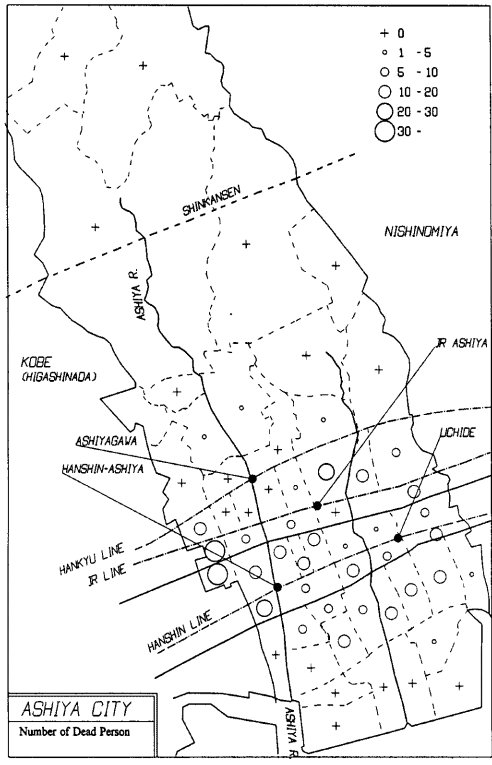


Fig. 18 Distribution of human damage (Ashiya)

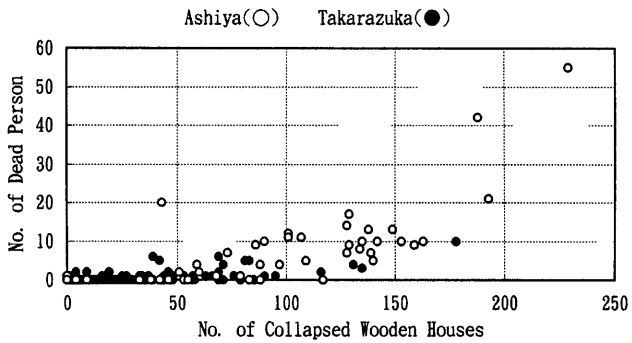


Fig. 19 Relation between number of dead person and number of collapsed wooden buildings

かなり高かった。死亡者と倒壊家屋数との比は一般に1/100~1/30と言われている⁸⁾が、宝塚で一番被害の大きかった星の荘では1/20程度となり、やや大きめの値を示している。

一方、芦屋では、ごく一部の町をのぞいて、相関の高い2次曲線的な関係がみられる。死亡者と倒壊家屋数との比は、全壊棟数が100棟のレベルでおよそ1/10、一番被害の大きかった津知町では1/4程度となり、一般に知られている値と比べるとかなり大きめの値を示している。この原因については現段階では明らかになっていないが、家屋の倒壊以外に、火災などの他の原因で亡くなられた可能性があり、今後死亡原因について明らかにしていく必要がある。

5. まとめ

建物の被害分布に影響を及ぼした要因について、以下にまとめる。

- a) 建物被害は構造物の種類により大きく変化する。同じ木造でも屋根の重いものは被害が大きく、またプレハブ造は被害が小さかった。また、建設年代と建物被害には相関の高い関係が見られ、古い建物は耐震性の低さ、腐朽などのため被害は大きくなる顕著な傾向を示した。この様に、建物の耐震性は被害分布に大きく影響を及ぼしていることが明らかとなった。
- b) 建物被害は堆積地の緑で大きく、丘陵地では被害はきわめて小さかった。断層に沿って被害の集中する地域が見られ、深層基盤構造の変化が被害に影響を及ぼしている可能性が示された。また、表層地盤の軟弱さも大きく影響しているものと考えられる。宝塚では、基盤構造や表層地盤などの条件と建物の耐震性に関する悪条件が重なり、被害集中域から離れていたにもかかわらず大きな被害の発生した地域が局所的に現れたものと推測される。
- c) 被害建物と死亡者は同様の分布性状を示し、倒壊建物数と死亡者数の関係には高い相関が見られた。その比率は一般に言われていたものよりはかなり高く、この原因については今後明らかにしていく必要がある。

地震被害は建物の耐震性に大きく依存する。近年建てられている建物程度の耐震性があればほとんど倒壊していないことが Fig. 3, Fig. 10 からわかる。建物の古さ（部材の接合部がしっかりしているか、白蟻に食われたり腐っていないか）、壁の量や配置（一般には壁が多く、適切に配置されるほど耐震性が高まる）、などをチェックし、弱いところがあれば積極的に補強をすべきである。耐震性の評価には一般の人々にもできる簡易な判定法⁹⁾があるのでまずそれを使って概略の診断をすることも可能である。

一方では、行政レベルで個々の全建物の耐震診断を進め、地域全体の耐震性の分布を把握することが、地域全体の耐震性を向上していく方策を立てるために必要となろう。

最後に、被害データ・ボーリングデータの入手にあたりいろいろとご協力いただいた宝塚市・芦屋市の関係諸氏に厚く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 京都大学防災研究所：阪神・淡路大震災—防災研究への取り組み—, 1996.1
- 2) 日本建築学会：1995年兵庫県南部地震災害調査報告書, 1995.3
- 3) 藤原悌三・岩井 哲・北原昭男：1993年鉦路沖地震被害調査報告（その1：建築構造物の被害概況）, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 第33号構造系, 1993.6
- 4) 北原昭男・藤原悌三・岩井 哲：1993年鉦路沖地震被害調査報告（その2：建築物および室内の地震被害の分布特性）, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 第33号構造系, 1993.6
- 5) 宝塚市提供の地盤調査資料より

- 6) 杉戸・亀田ら：工学的基盤面と沖・洪積地盤面の地震動の変換係数—表層地盤の非線形性を考慮した最大地動・応答スペクトル・非定常スペクトルの推定モデル—, 京大防災研年報, 第29号 B-2, 1986, pp.41-58
- 7) 西宮市及び隣接地域地質図, 西宮市, 1966
- 8) 太田 裕・岡田成幸：震災のダイナミクス（その1）世帯に及ぼす影響の時間変動性—記載法—, 地震, 第2輯, 第42巻, 1989, pp.497-506
- 9) 建設省住宅局監修：木造住宅の耐震精密診断と補強方法, 日本建築防災協会・日本建築士連合会編, 1985