

兵庫県南部地震による建築物の被害

角陸 純一¹⁾・横田 治彦¹⁾

1. はじめに

1995年1月17日、淡路島北部を震源とするマグニチュード7.2の直下型地震が近畿地方を襲い、震源に近い淡路島はもとより、神戸市をはじめとする阪神地域を中心に、多数の建築物の倒壊や火災が発生した。死者5,502名(4月14日現在)、負傷者34,626名(2月16日現在)、家屋の全半壊178,937棟(3月4日現在)という戦後最大の大惨事となった。兵庫県警のまとめによると、死者のうちの89%は家屋の倒壊や家具の転倒による圧迫死や窒息死であり、建築物の倒壊による人的被害が大きかった。犠牲者を総人口比率で見ると、最も多いのは神戸市東灘区(0.66%)であり、次いで同灘区(0.63%)、同長田区(0.53%)、芦屋市(0.46%)の順となっており、建築物の被害もこれらの地域で著しくなっている。ただし、今回の地震は早朝に発生したため、神戸市中央区のように夜間人口の少ない地域では建築物の被害に比べ人的被害は少ない。

2. 建築物被害の概要

兵庫県南部地震の被害は震源とされる淡路島北淡町から大阪府西部へと広がっている。特に建築物の被害が大きかった地域は、淡路島の北端から神戸市内を海岸線にほぼ平行して延びる幅1~2km、長さ30kmの帯状の地域に集中している。鉄筋コンクリート造や鉄骨造の建物が多く倒壊した地域は、神戸市の須磨海岸から西宮市に至る約25kmの間で幅200~300mの帯状に延びていることが日本建築学会近畿支部の調査で確認されている。気象庁が調査した震度7の地域も、第1図に示すように上

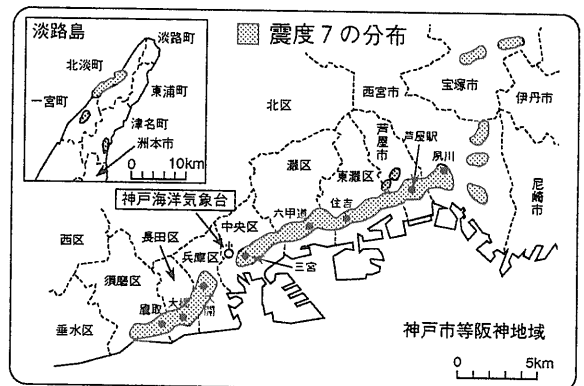
記の地域にほぼ対応しており、淡路島の北淡町、一宮町、津名町の一部、神戸市の須磨区から西宮市、そして宝塚市の一部までほぼ帯状に分布している。

建築物の被害の特徴としては、木造の建物の場合重い日本瓦屋根で在来の軸組構法の比較的古い家屋(築後2,30年以上)に被害が集中したことが挙げられる。

れんが造や石造等の組積造建物で、壁が一部破壊した例や完全に倒壊した例などが見られたが、一方で比較的壁厚が大きかったためかほとんど被害のなかった建物もあった。

コンクリート造の建物では、1階のピロティ(柱のみで壁が無い構造)部分が層崩壊(1階部全体が破壊する)した建物や短柱(腰壁やたれ壁の存在により柱断面に比べ正味の柱高さが短い柱)がせん断破壊した建物が目立ったが、中間階が層崩壊した建物も多数見られた。

鉄骨造の建物では、柱梁接合部の損傷により層崩壊した低層建物や、柱鉄骨がぜい性破壊した高層建物等が見られた。



第1図 震度7の地域。

1) 清水建設(株)技術研究所:
〒135 東京都江東区越中島3-4-17

キーワード: 地震, 被害, 建築物

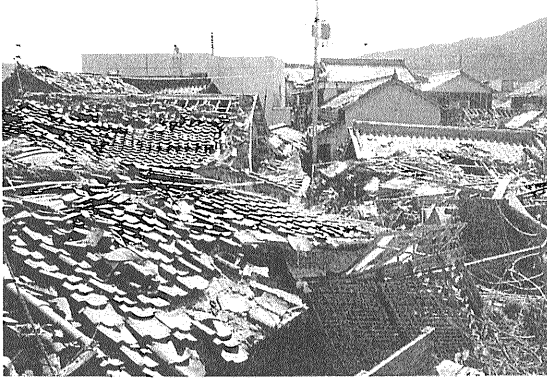


写真1 淡路島北淡町の木造建物被害。全半壊建物と無被害建物が混在。

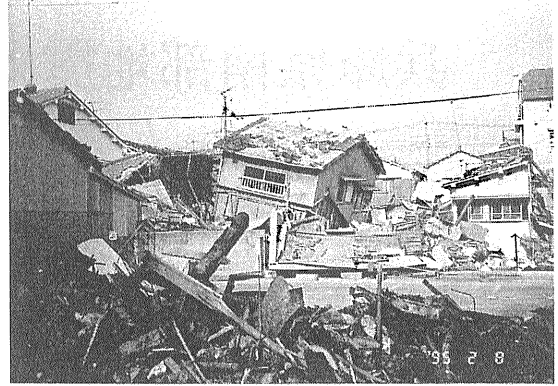


写真2 JR 鷹取駅南東側の木造住宅の被害。

非構造材の被害としては、ALC(軽量気泡コンクリート)系外壁のパネル接合部や固定部の破損、パネルの脱落等の被害が目立った。また、ボード系の外壁では、ボード固定部の割れやボードの脱落という被害が見られた。筆者は阪神地域の全域を調査したわけではないが、収集した資料も参考に被害建物の写真をもとに地域別に被害状況を紹介する。

3. 建築物の被害

3.1 淡路島

今回の地震は淡路島の北部を震源とし、野島断層で大きなずれが観測された。気象庁の発表では北淡町・一宮町・津名町の一部で震度7とされている。淡路島での建築物の被害は全壊1986棟、半壊3126棟であり、顕著な建築物の被害は津名町から北淡町までの北部地域にかけて見られた。ただし、写真1に示すように全半壊した建物と瓦の落下程度の軽微な被害の建物が混在しており、老朽化した在来の軸組構法の家屋に被害が集中したと言える。これらの建物では台風等の風水害に備え、ふき土を野地板の上に敷きつめ、その上に重い日本瓦を並べている。従って、屋根の重量が重く、地震時に大きく揺れたものと考えられる。また、1950年に建築基準法が制定されるまでは、地震時に作用する水平力に対する耐震性能の確保が不十分であり、古い建物では壁や筋交いの量が足りない建物、壁の配置が悪い建物、筋交いと柱の接合部が弱い建物等が多い。このような建物が多く倒壊したと考えられる。これに対し、屋根が軽く壁量が十分な最近のツーバイフォ

ー住宅やプレハブ住宅、在来の軸組構法でも十分に耐震的な配慮がなされた住宅ではほとんど被害が見られなかったと報告されている(日本経済新聞2月9日)。

鉄筋コンクリート造建物や鉄骨造建物では、RC造3階建ての学校と公民館で柱のせん断破壊が見られたが、その他の建物では顕著な被害を受けたものはなかった。

3.2 神戸市須磨区、長田区、兵庫区

気象庁発表の震度7の地域は須磨区から兵庫区にかけての海岸近くの幅の狭い地域に分布しており、顕著な建築物の被害もJR須磨駅からJR新長田駅を経て神戸高速鉄道の大開を結ぶ幅約500mの地域に集中している。JR鷹取駅(須磨区大池町)では、最大加速度(NS:642, EW:666, UD:290gal)の強震記録が得られているが、この付近では写真2に示すように多数の木造住宅に顕著な被害が見られた。長田区においても写真3に示すように多数の木造住宅の倒壊が見られた。これらの地域では1階部分のみが壊れ、2階部分が道路などに迫り出して倒壊している建物が多く見られた。1階部分を店舗等にした建物では、1階の間口を広くとってあるため壁が偏在して配置されている。そのような建物では地震時に全体が振じられるような挙動を示し、間口付近の柱が大きく変形して壊れたものと考えられる。在来軸組構法の建物でも、十分な量の壁と筋交いが適切に配置されていた建物では震度7の地域でも倒壊を免れたり、あるいはほとんど被害のない建物も見られた。他に、土台と柱の緊結が不十分なために柱が土台から抜け出して建物全体が移



写真3 長田区の木造住宅の被害。軒並み1階部分が崩壊していた。



写真5 長田区にある軽量鉄骨造の3階建てホテルの1階が崩壊していた。



写真4 兵庫区にある鉄骨鉄筋コンクリート造建物が全層にわたり崩壊していた。

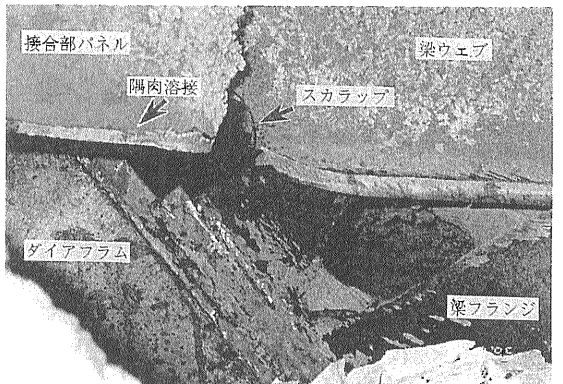


写真6 溶接不良(ダイヤフラムと接合部パネルの溶接が隅肉溶接であった)

動したり、転倒したりする建物も見られた。

この地域では写真4に示すように多数の鉄筋コンクリート造(RC造)建物や鉄骨鉄筋コンクリート造(SRC造)建物に被害が見られた。1968年の十勝沖地震で短柱のせん断破壊が注目され、1971年の建築基準法の改正でそれまで30 cm以下とされていたせん断補強筋の間隔が10 cm以下とされ、せん断補強の強化が図られた。大きな被害を受けた建物の多くは、1971年以前の基準による比較的古い建物であり、柱のせん断耐力の不足が破壊の原因の一つと考えられる。

写真5は1階部分が崩壊した軽量鉄骨造の3階建てホテルを示している。この種の接合部の溶接は完全溶込み溶接でなければならないが、この建物では写真6に示すように1階柱頭部の接合部が隅肉溶接であり、溶接部の耐力が不足していたものと考えられる。

3.3 神戸市中央区

最大加速度値(NS : 818, EW : 618, UD : 332 gal)が得られた神戸海洋気象台(中央区中山手通)は六甲山地の麓の台地上にあり、付近では写真7に示すように外壁の仕上げモルタルが剥落する程度の被害であり、倒壊した木造住宅は少なかった。三宮周辺では多数の建物に被害が見られたが、JR元町駅より西側は震度7の分布からはずれており、建物の被害は少なかった。建物被害への地盤の影響が大きかったものと思われるが、今後地盤構造等を詳細に調査する必要がある。ガス供給所(中央区北本町通)でも最大加速度記録(833 gal)が得られたが、ガス球形ホルダー等には特に被害は見られなかった。

第2図には筆者が調査した中央区の東側でのRC造およびSRC造建物の被害分布を示している。写真8は中間階が層崩壊したSRC造建物を示して



写真7 海洋気象台から東へ約100m下りた地域の木造住宅の被害。

いる。三宮周辺ではこのような整形の建物が多く、これらの多くで中間階が層崩壊する例が見られた。このような破壊の原因について、SRC造とRC造の境界部での剛性変化による影響、旧耐震設計での設計地震力が新耐震設計法に比べ中間階で小さい影響、上下動による軸力変化の影響等、種々の説が発表されたが、今後詳細な調査検討が行なわれるであろう。写真9は全層が崩壊したRC造建物を示している。両隣の建物に比べ、この建物は全体の耐震性能が小さかったものと考えられる。写真10はSRC造11階建ての高層集合住宅の被害を示している。この建物は比較的古く、柱の鉄骨は第3図に示すような非充腹型(ウェブが帯板から成る形式)であり、柱のせん断耐力が小さかったと考えられる。

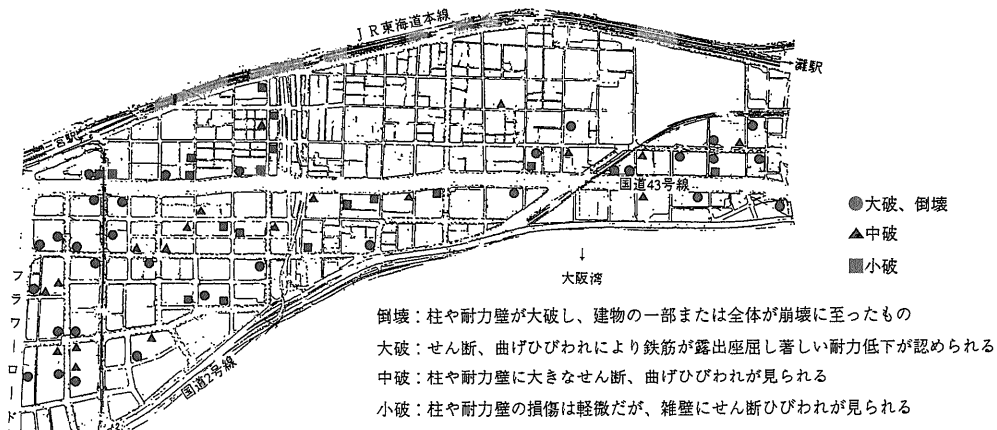
三宮周辺には軽量鉄骨やラチス部材を用いた中高層の鉄骨造建物が多いが、写真11に示すようにこ



写真8 中間層が崩壊した鉄骨鉄筋コンクリート造建物。一部鉄筋コンクリート造。

れらの建物の多くで被害が見られた。これらの建物では、ブレース(筋交い)材が無いか、あるいは断面が小さいためにブレースが破断する例が多く、地震時水平力に対する耐震性能が不足していたものと考えられる。溶接不良の建物も数多く見られた。組積造の建物では写真12に示すような被害、あるいは倒壊した建物等が見られたが、比較的規模の大きな組積造建物の中には壁厚が大きいいためか、ほとんど被害が見られないものもあった。

この地域では比較の間口が狭く高さの異なる建物が接するように建っている例が多く見られた。このような場合、それぞれの建物の振動特性が異なるために地震時の揺れの位相や振幅が異なり、衝突による被害の例が見られた。写真13は隣り合う建物を結ぶ連絡橋の被害例を示している。今回の地震では建物間の連絡橋が落下したり、隣接棟間のエクステンションジョイントが破壊する例が数多く見られた。



第2図 中央区でのコンクリート系建物の被害分布。



写真9 全層が崩壊した鉄筋コンクリート造建物。



写真11 鉄骨造7階建て建物の全層崩壊。ブレース破断による強度低下。

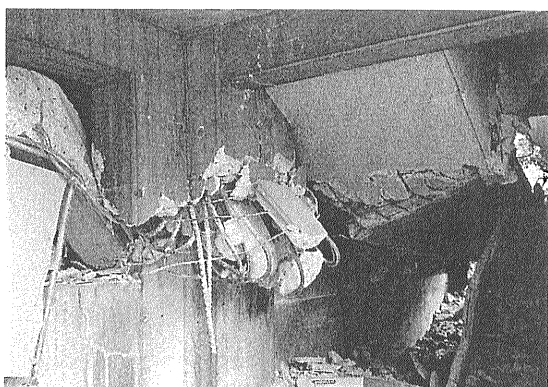


写真10 1階ピロティーが崩壊した鉄骨鉄筋コンクリート造高層集合住宅。

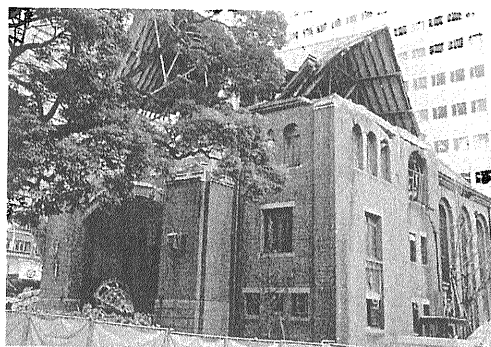
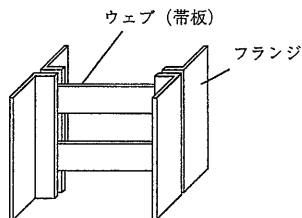


写真12 中央区のれんが造教会の被害。尖頭が倒壊。



第3図
帯板形式の鉄骨



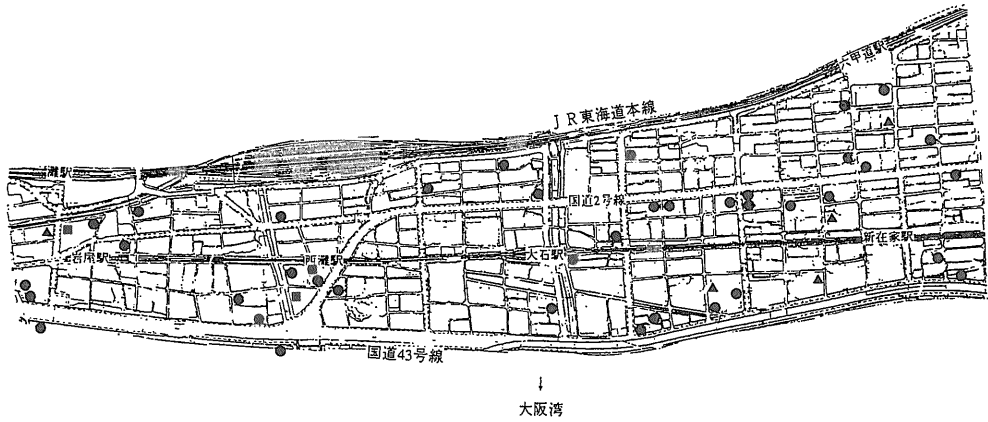
写真13 市役所の新棟と旧棟を結ぶ連絡橋が落下。

3.4 神戸市灘区

神戸大学工学部(灘区六甲台町)で最大加速度値(NS: 270, EW: 305, UD: 447 gal)が得られたが、大学周辺ではほとんど被害は見られなかった。

第4図には筆者が調査した灘区でのRC造およびSRC造建物の被害分布を示している。この地域でもJR東海道線より南側で多くの建物に被害が見られた。写真14はRC造4階建ての中学校の被害を示している。このような建物では柱が短柱となることが多く、せん断補強筋量が不十分な場合には曲

げ耐力に比べせん断耐力が小さくなる。従って、写真のように柱がせん断破壊する例が多い。せん断補強筋の間隔が比較的小さい場合でも、写真15のように柱頭や柱脚部が曲げ破壊し、主筋が座屈する例が見られた。写真16はRC造集合住宅での柱の付着割裂破壊の例を示している。主筋上のかぶりコンクリートの厚さが比較的小さい場合、異形鉄筋に大きな力が生じると、主筋に沿ってかぶりコンクリー



第4図 灘区でのコンクリート系建物の被害分布.

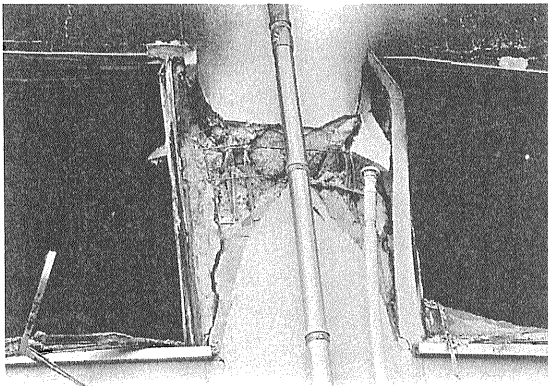


写真14 鉄筋コンクリート造4階建て中学校の2階柱がせん断破壊していた。

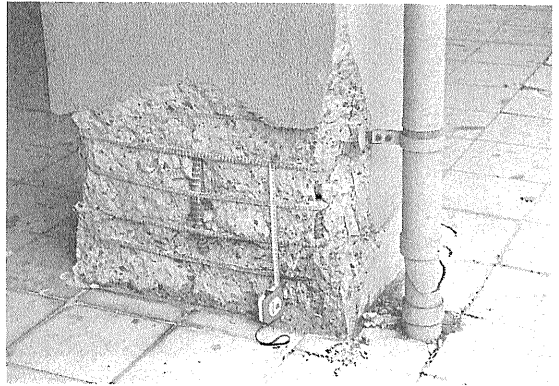


写真15 鉄筋コンクリート造高層集合住宅の1階柱脚部の曲げ破壊。

トが割り裂ける割裂破壊が生じることがある。写真17は鉄筋コンクリート造の高層集合住宅での柱梁接合部の被害例を示している。柱梁部材に比べ接合部の耐力が不足する場合には接合部がせん断破壊するものと考えられる。建物の片側が柱のみで反対側が階段室等で壁量が多い場合、壁部材は変形しにくく柱部材は大きな変形を生じるため、地震時には建物全体が振じれるような揺れを生じる。従って、写真18に示すように隅の柱の変形が大きくなり、破壊することがある。

3.5 神戸市東灘区

市立本山第一小学校(東灘区本山北町)で最大加速度値(NS : 421, EW : 775, UD : 379 gal)が得られたが、小学校にはほとんど被害は見られなかった。この地域の被害はJR東海道線より南側に集中しており、特に国道2号線より南側では写真19に示すように多数の木造住宅が倒壊していた。この地域に

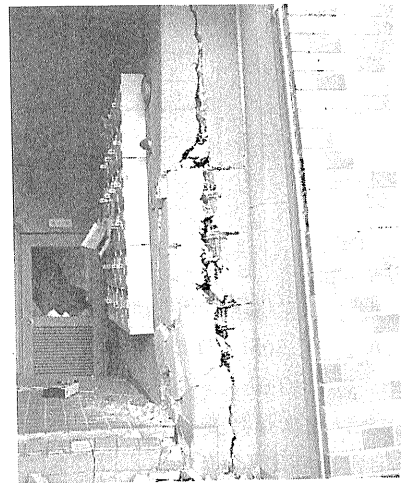


写真16 鉄筋コンクリート造高層集合住宅の1階柱の付着割裂破壊。

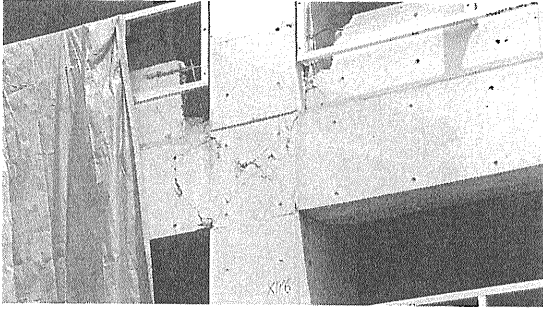


写真17 鉄筋コンクリート造高層集合住宅の柱梁接合部のせん断破壊。



写真19 神戸市東灘区の木造住宅の被害。

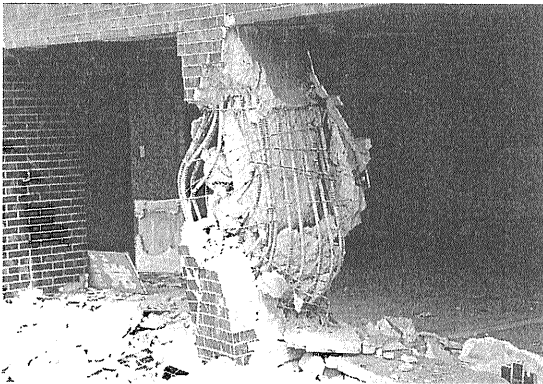


写真18 鉄筋コンクリート造6階建てビルの1階柱が建物のねじれによる変形で破壊。

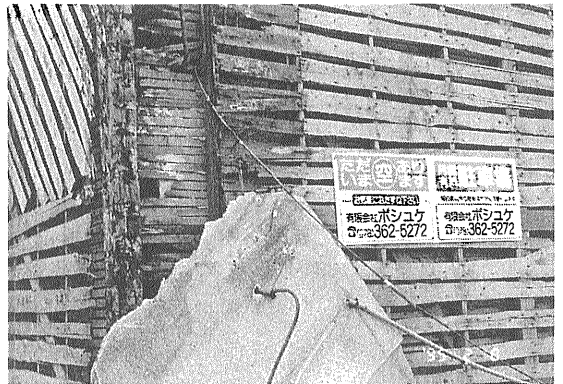


写真20 木部が腐食していた建物。

は古い木造住宅が密集しており、これらの多くが倒壊した。古い木造住宅では写真20のように仕上げモルタルの内側の柱材が腐食したり、白ありの被害が見られる例も多く、これも被害原因の一つと考えられる。日本建築学会の緊急報告会では、第5図のように沖積層が薄くなるにつれ木造建物の倒壊率が増加し、岩盤との境界付近ではほぼ100%に達し、これは地形による地震動の増幅効果と考えられると報告されていた。

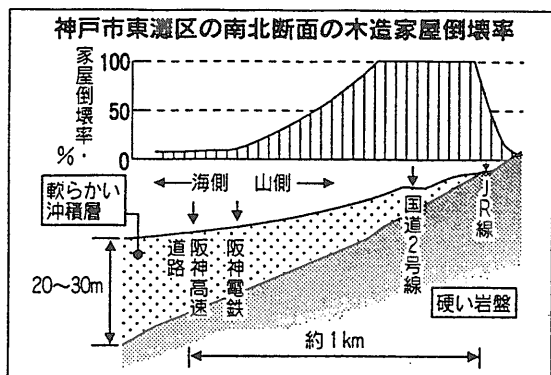
第6図には筆者が調査した東灘区でのRC造およびSRC造建物の被害分布を示している。建物の被害はJR東海道本線より南側で国道2号線を中心とする地域で数多く見られた。写真21には1階が崩壊したRC造の集合住宅の被害を示す。この種の建物では、1階部分を駐車場や店舗等にしており、ピロティ形式と呼ばれる壁が無く柱のみの構造とする例が多い。このような建物では他の階に比べ1階部分の剛性が極端に小さくなるため、地震時には1階部分が破壊しやすい。今回の地震でも1階

のピロティ一部が崩壊するという例が数多く見られた。写真22は鉄骨鉄筋コンクリート造建物の被害である。SRC造建物の鉄骨柱脚は、第7図のように基礎梁の中に埋め込むタイプと基礎梁の上に置いたアンカープレートをボルトで定着するタイプがある。後者の場合、アンカープレートの定着および周りの補強が弱いために、写真のようにアンカープレートが滑る例が見られた。

3.6 芦屋市

芦屋市も国道2号線を中心に震度7の地域が分布しており、建築物の被害も阪急電鉄神戸線と国道43号線の間で東西に広がっていた。木造建物の被害は神戸市東灘区に接する芦屋川以西で最も激しく、芦屋川以东でも阪急電鉄神戸線から国道43号線まで被害は広がっていた。

RC造建物の被害は、JR東海道線と国道2号線に沿った地域に多数見られた。これらの多くは1階ピロティ一部の層崩壊であった。写真23には



第5図 倒壊率と地層の関係.

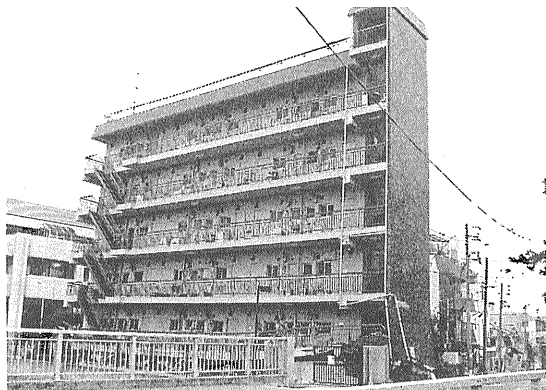
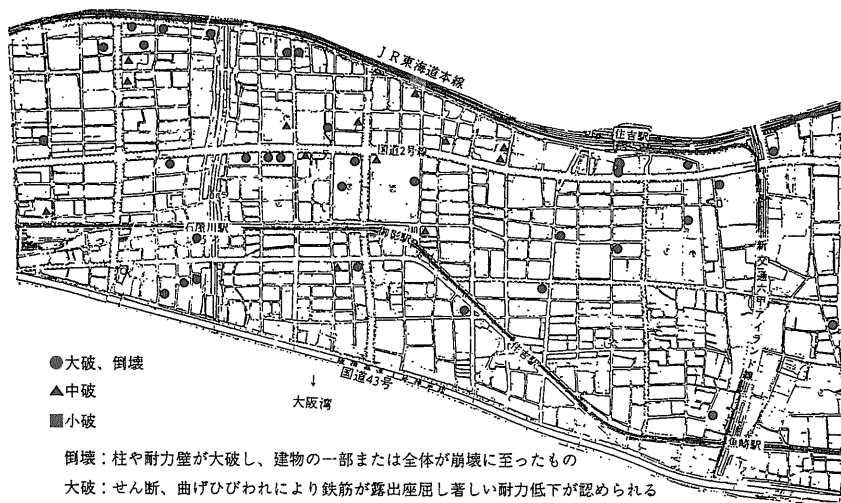
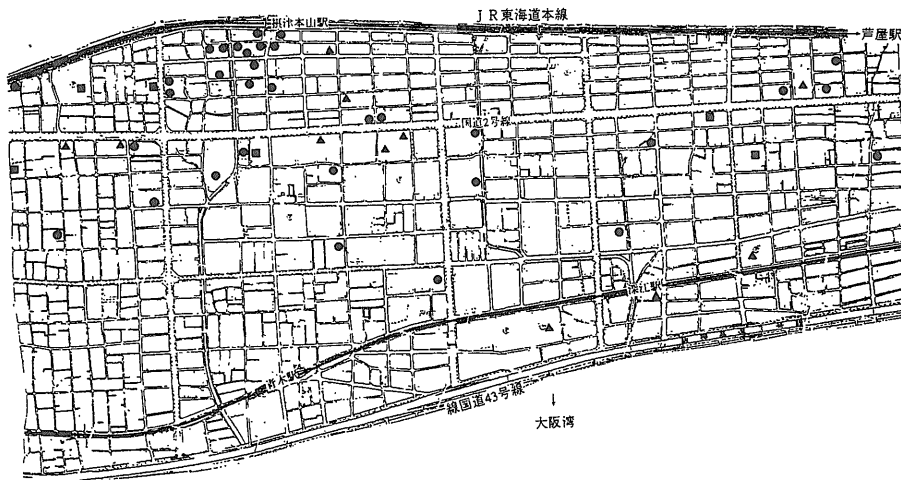


写真21 1階ピロティーが崩壊した鉄筋コンクリート造集合住宅.



●大破、倒壊
▲中破
■小破

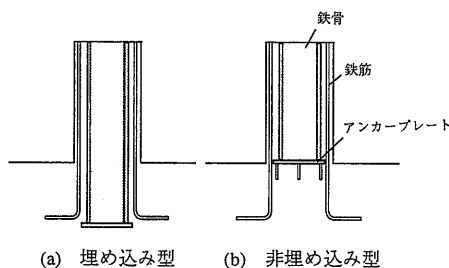
倒壊：柱や耐力壁が大破し、建物の一部または全体が崩壊に至ったもの
大破：せん断、曲げひびわれにより鉄筋が露出座屈し著しい耐力低下が認められる
中破：柱や耐力壁に大きなせん断、曲げひびわれが見られる
小破：柱や耐力壁の損傷は軽微だが、雑壁にせん断ひびわれが見られる



第6図 東灘区でのコンクリート系建物の被害分布.



写真22 1階柱脚部のアンカープレートが滑りだして破壊.



第7図 鉄骨鉄筋コンクリート造建物の柱脚

RC造6階建ての建物の被害を示すが、今回の地震ではこれ1棟だけであるが、建物の全層が積み重なるように崩壊していた。写真24は芦屋浜に建つ鉄骨造高層集合住宅の柱鉄骨の被害を示しているが、これらの建物では写真に示すように柱鉄骨の継手部や母材部で脆性的な破壊が見られた。

3.7 西宮市, 尼崎市

西宮市のガス供給所(西宮市今津出在家町)で最大加速度値(792 gal)が得られたが、ガス球形ホルダーや隣地の市立今津南市民館には目立った被害は見られなかった。付近の木造住宅にも大きな被害が見られたが、倒壊に至ったものは少ない。

この地域でもRC造建物の被害は1階ピロティが崩壊した例が多いが、写真25に示すような中間階が崩壊している例も見られた。この建物は、1、2階が量販店で、3階以上が住宅であり、その境界部である3階が層崩壊していた。

3.8 宝塚市, 伊丹市

JR宝塚駅(宝塚市栄町・川面)で最大加速度記録(NS: 694, EW: 587, UD: 410 gal)が得られてい



写真23 全層が積み重なるように崩壊した鉄筋コンクリート造建物.

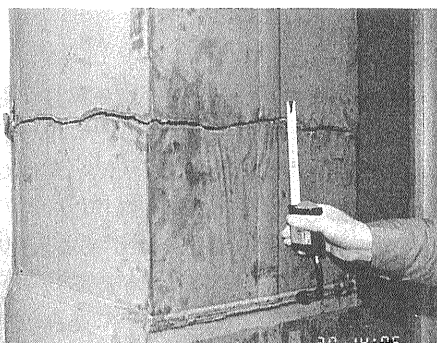


写真24 鉄骨造高層住宅の柱鉄骨に生じた脆性的な破断.

る。この地域では、JR宝塚駅の東側とJR中山寺駅付近で震度7と報告されている。この付近では倒壊した木造住宅は少なく、屋根瓦の落下や外壁の仕上げモルタルの剝落等の被害が目立っていた。倒壊した木造建物のほとんどは古い在来軸組構法の建物であった。

RC造の建物の被害は比較的少ないが、顕著な被害を生じた建物は阪急電鉄今津線沿いに分布していた。写真26はRC造4階建て社員寮であるが、雑壁と柱に大きなせん断ひび割れが生じていた。

4. あとがき

兵庫県南部地震での建築物の被害は、淡路島北部から神戸市を経て、西宮市と宝塚市に至る幅狭く長い地域に集中している。直下型地震であったため、震源域およびその近傍の地震動の大きさに起因して建物被害が大きかったと考えられるが、地形および表層地盤の影響も大きかったと考えられる。今後詳



写真25 下層部が量販店で、上層部が集合住宅となっており、その境界部の層が崩壊。



写真26 雑壁と柱に X 状のせん断ひびわれが生じていた。

細な調査検討により地盤と建築物の被害の関係を明らかにする必要がある。

今回の地震での建築物の被害状況をまとめると、一つには数多くの木造住宅が倒壊したことがあげられる。倒壊した建物のほとんどは築後2,30年以上の古い軸組構法の建物であり、壁や筋交いが量的に足りないか、偏在しているという問題点を有していた。RC造の建物では、従来から指摘されていた1階ピロティー部の崩壊、短柱のせん断破壊、壁の偏在によるねじれ破壊等の他、中間階の崩壊が注目を集めた。SRC造建物が大きな被害を受けたのは、おそらく今回がはじめてであり、非充腹型SRC柱のせん断耐力不足による破壊、鉄骨柱脚プレートのすべり破壊等が目をつけた。鉄骨造建物では、中低層建物での溶接不良やブレースの不足による崩壊、高層建物での柱鉄骨のぜい性破断が注目された。これらの被害で共通して言えることは、旧規準で設計された古い建物に被害が集中した点である。

応答解析などの耐震設計技術の進歩や宮城県沖地震の経験から1980年に建築基準法が大幅に改正され、1981年以降はこの新耐震設計法により設計が行なわれることになった。新耐震以前の規準で設計された古い建物については、これまでは構造的な適

及処置が行なわれることはなく、大規模改修や増築等の機会に耐震診断が義務づけられ、その結果必要ならば耐震補強が施される状況であった。しかしながら、今回の被害状況を教訓とすれば、古い建物について耐震診断とその結果による耐震補強を早急に行なうように今後検討する必要があると言える。新耐震設計法で設計された建物でも一部被害を生じたものがあるが、これらはおそらく、鉛直方向の剛性の急変、水平方向での壁の偏在、あるいは短柱の存在など、なんらかの構造的な弱点を有していたものと思われる。建築物の設計ではこのような点に注意する必要があるものと言える。今後各方面で詳細な調査や被害原因の究明が行なわれると考えられるが、今回の地震による教訓を十分に活かすことが建築に携わる者の責任と考えている。

文 献

日本建築学会(1995)：1995年兵庫県南部地震災害調査速報，193p
清水建設株式会社(1995)：1995年兵庫県南部地震調査報告書，226p

KADORIKU Junichi and YOKOTA Haruhiko (1995):
Damaged buildings of the 1995 Hyogoken-nanbu earthquake.

〈受付/受理：1995年5月11日/5月31日〉