

兵庫県南部地震による建物被害

鈴木 祥之

1. はじめに

1月17日午前5時46分に発生した1995年兵庫県南部地震は、阪神・淡路地域において建築物に甚大な被害を与え、住家被災は全壊10万棟、半壊10万7千棟を越えている。この阪神・淡路大震災による損失では、なにより戦後最悪の人的被害となり、死者5,502人、不明2人、負傷者4万余人となった。特に、死因の約88%が家屋・家具の倒壊によるものであった。また、経済的損失も大きく、兵庫県のまとめ（4月7日）によれば、県内の建物、港湾施設、鉄道、高速道路等の被害総額は9兆9千億円に達しており、その内、建築物の被害は5兆8千億円となっている。わずか20秒間の揺れが、多くの人命と社会資本、個人財産を奪い、さらに波及的な被害損失は計り知れないものになっている。

本震の規模は、気象庁によるとマグニチュード7.2であったが、都市直下型地震の破壊力は極めて大きいものであった。我が国史上初の震度7が神戸市中央区三宮付近と淡路島の北淡町、一宮町の一部地域について適用された（気象庁1月20日発表）。さらに2月7日には神戸市須磨区から西宮市にかけての幅1km、延長20kmに及ぶ帯状の地域に震度7が新たに適用された。

このような被災状況から、建築物の被害事実を明らかにし、また記録に留めておくことは、緊急課題であり、日本建築学会をはじめ多くの関係者によって被災地での被害調査等が行われ、調査速報等が刊行されている。さらに、現在では、被害原因を究明するために個々の被害状況をより詳細に調査、検討がなされている。

本報告では、防災研究所グループによる即日被害調査および日本建築学会近畿支部兵庫県南部地震災害調査WGでの神戸市中央区における建物全数被害調査^{1)~5)}に基づいて、主として神戸市中央区の建物被害について報告する。

2. 建物被害調査

2.1 調査地域および調査方針・方法

(1) 防災研究所グループによる即日調査

調査期間：1月17日～19日

メンバー：鈴木祥之、中島正愛、岩井 哲、北原昭男、北 勝利、市川信夫、斉藤秀雄、標 智仁、中治弘行（京都大学防災研究所）、関口秀雄（京都大学工学部）、日下部 馨（神戸大学建設学科）

防災研究所を中心とするグループによって、被害状況と被害地域を概略的に把握するため緊急に調査を行った。本調査は、本格的な被害調査のための事前調査を目的とし、神戸大学を起点に、西は神戸市長田区まで、東は西宮市までの地域となった。この調査により、被害の激甚地域は、神戸市および芦屋市ではJR神戸線、国道2号線に沿った帯状となっており、西宮市では阪急西宮北口駅周辺などであることが判った。ま

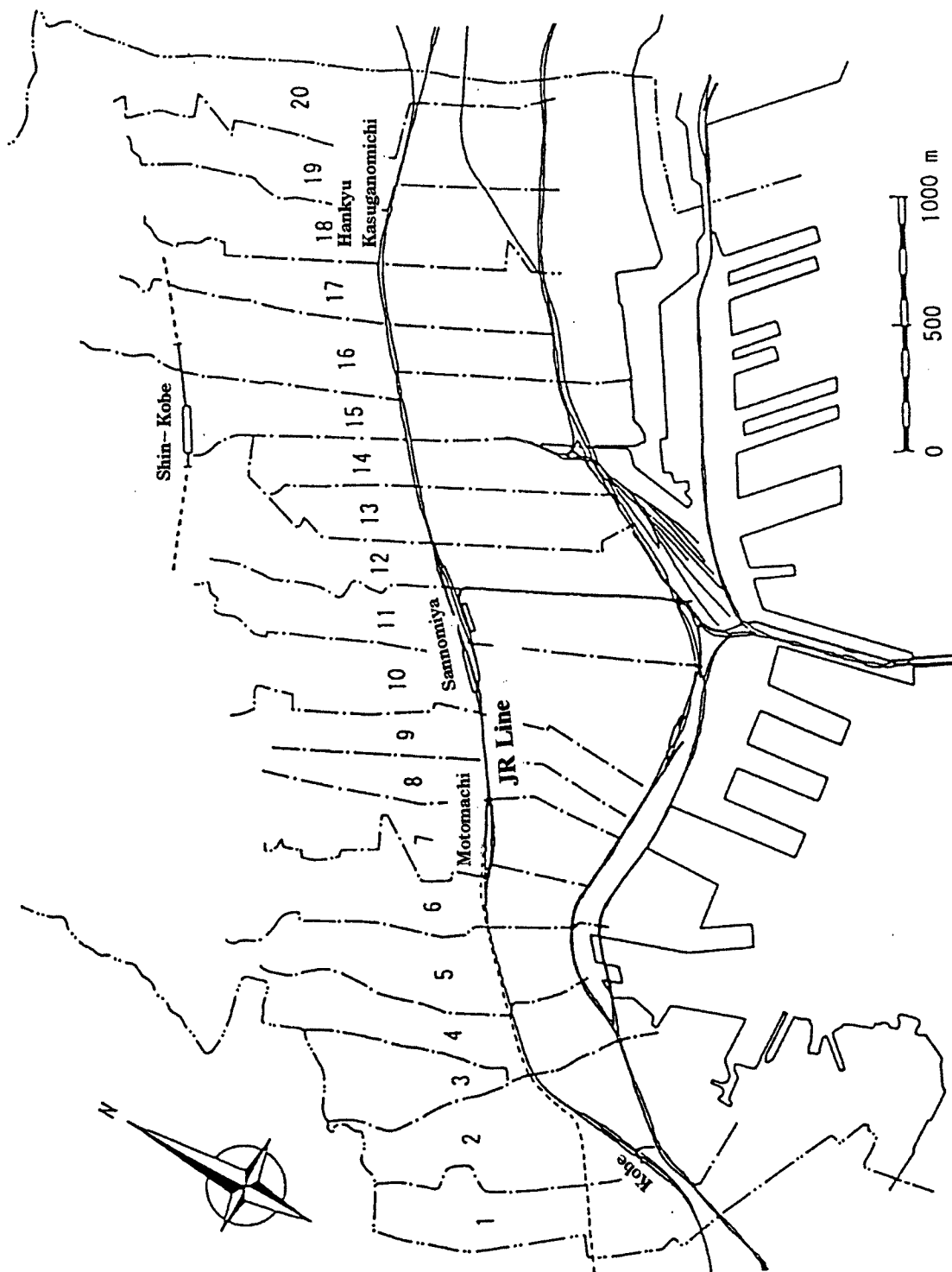


Fig. 1 Subdivision of investigated area in Chuo Ward of Kobe.

た、六甲山系の山側に近づくにつれて被害程度は軽くなること、南の浜側では液状化による道路の陥没や建物の傾斜などの被害が見られるが、倒壊や大破の被害建物は少ないことなどが判った。

(2) 日本建築学会近畿支部兵庫県南部地震災害調査WGによる合同調査：中央区担当

調査期間：1月24日～26日

メンバー：藤原悌三、鈴木祥之、中島正愛、岩井 哲、市川信夫、ミシェル・ブルーノ、北山宏貴（京都大学防災研究所）、大場新太郎、甲津功夫、西村泰志、堀家正則、二村誠二（大阪工業大学）、富岡義人、川口 淳（三重大学工学部）、鈴木 有、後藤正美（金沢工業大学）、福本和正（滋賀県立短期大学）、森 保宏（名古屋大学工学部）、杉之内靖、森 浩二（浅沼組技術研究所）、佐藤修（佐藤建築設計）、石倉秀敏（竹中工務店）、壁谷沢寿海（横浜国立大学工学部）、田才 晃（東京大学工学部）、楠 浩一（東京大学生産技術研究所）、山本昌夫（フリー）

調査期間：2月4日～5日

メンバー：藤原悌三、鈴木祥之、北原昭男、標 智仁、中治弘行、荒木時彦、北山宏貴、小倉正臣（京都大学防災研究所）、東樋口 護（京都大学工学部）、杉之内靖、谷沢 晋（浅沼組技術研究所）、立石 一（立石構造設計）

日本建築学会近畿支部耐震構造研究部会を中心とする兵庫県南部地震災害調査ワーキンググループ（主査：竹内吉弘（大阪工業大学））が組織され、1月24日からの3日間、被災地全域を対象に建物被害調査が行われた。筆者らの調査班が担当した地域は、神戸市中央区である。調査地域は西に兵庫区、東に灘区と連なり、北側は六甲山系の山地であり、南の海側は神戸港である。ほぼ中央をJR東海道本線と阪急電鉄神戸線が隣接して南西から北東に横切っている。

中央区の地形は、北側は花崗岩から成る六甲、南下して段丘層となり、この段丘層は兵庫区と接する西側地域では南側に延びている。一般に市街地は扇状地の沖積平野であるが、南下するにつれて形成時期の新しい扇状地となり、また沖積層も厚くなる。さらに海側は埋め立て地である。

調査期間は、1月24日～26日および2月4日、5日で、被害調査は、Fig. 1に示すように中央区を20の地区に分割して行った。なお、調査範囲は、北側は山間地を除き、山際の住宅地までとし、また南側の神戸港湾施設およびポートアイランドを除いた。

調査対象建物は、木造、コンクリート系（鉄筋コンクリート造および鉄骨鉄筋コンクリート造）、鉄骨造建物など構造種別によらず全数調査を調査方針とした。また、建物の被害判定レベルは、倒壊、大破、中破、小破、軽微および無被害の6段階に区分した。しかしながら、被害判定は、概ね短時間での目視による外観からの調査であったため、内部までの調査を行えば被害レベルの判定が変わる可能性がある。また、被害レ

Table 1 Damaged buildings in Chuo Ward.

structural type	damage level				
	collapse	severe damage	moderate damage	minor damage	slight damage
reinforced concrete structure	81	126	175	339	922
steel structure	56	94	183	298	412
wood structure	6.57%	7.97%	13.07%	12.24%	10.97%

ベル判定は各班毎に異なっている。構造種別の判定も、特に被害が軽微なものに対しては困難である。このように時間的制約や戸数の多さなどから整合性を欠くなどの問題点を含んでいることを予め断っておく。

2.2 被害概要

中央区における建物の被害は、全般的に構造種別に関係なく被害が著しい地域であるが、Fig. 1の区分による地区別すなわち東西方向にみれば、三宮周辺の10および11地区は大被害を受けており、一方、元町3丁目あたりから西側の4～6地区は比較的被害程度が軽い。また、地形的には、北側の傾斜地では被害程度は軽く、南に下るにつれて小破、中破程度の被害が多くなり、中山手通、加納町3丁目、神若通、宮本通を結ぶ線あたりから急激に被害が大きくなる傾向が見られる。浜に近い地域では、液状化による地盤の沈下、陥没などの変状が見られ、それが原因と思われる建物被害も目立つが、被害程度は倒壊、大破がむしろ少なくなる。

調査した建物の被害レベル別および構造種別による集計をTable 1に示す。コンクリート系（鉄筋コンクリート造および鉄骨鉄筋コンクリート造）および鉄骨造建物については被害棟数を、木造建物については、調査した全棟数に対する比率（％）である。ここで、構造種別の不明な建物は除外した。また、11地区の木造建物の被害が集計されていないが、倒壊・大破は1,500棟以上となり、さらに中破を加えると4,500棟以上になる。

以上の被害調査から、主として神戸市中央区における木造、コンクリート系、鉄骨造および煉瓦・組積造などの構造種別毎に建物被害の分布ならびに被害状況について、以下に述べる。

3. 木造建物の被害

3.1 被害分布

木造建物の全壊率をFig. 2に示す。各地区をさらに南北方向に小ブロックに細分割している。ここで、全壊率は倒壊・大破の棟数に中破の棟数の半数を加え全棟数で除した比率と定義している。上段の数値は全壊率（％）、下段は各小ブロック内における全体の調査棟数である。図から全壊率50％を越える地域も多くみられる。特に、被害の多い地域は、元町駅から三宮駅にかけての北側周辺、春日野道駅周辺および神戸駅南側であり、また神戸市営地下鉄線周辺も被害が多い。

この全壊率の分布から中央区全体の平均値を求めると21.1％となる。最近の震度5ないし6程度の地震による主要被災地の木造全壊率と比較してみる。釧路沖地震による釧路市の全壊率が0.27％、能登半島沖地震の珠洲市で0.05％、三陸はるか沖の八戸市で0.13％である。今回の地震がいかに強い破壊力を持っていたかが判る。

Fig. 3は16地区における木造建物の被害分布を示す。この図から、北の山側では被害程度が軽く、南下するにつれて大きな被害となることが判る。木造建物の全壊率および被害分布は、南北方向の地盤特性の違いやそれに起因する地盤震動の強さとの強い相関を示していると考えられる。しかし、木造建物の被害は建設年代や工法に大きく影響されるため、北側では比較的建設年代が新しく、プレハブやツーバイフォーなどの新工法も多いこと、JR線周辺では老朽化した旧工法の建物が多いことなどを考慮する必要がある。

3.2 被害状況

木造建物の被害は、全般的に、建設年代が古く、老朽化した建物が大きな被害を受けている。特に、和瓦土葺きの重い屋根の建物に著しい（Photo 1を参照）。一方、建設年代の新しく、屋根の軽いプレハブやツーバイフォーなどの新工法のものは、小被害に留まっている。軒を連ねて建っている建物が全体的に傾斜もしくは崩壊、また端に位置する建物ほど大きな被害を受けている例が多数みられる。

間口の狭い1戸建て住宅では、桁行方向には壁が配置されるが、梁間方向には壁を十分に配置することが



Fig. 2 Distribution of ratios of the number of wood houses collapsed or severely damaged to the investigated total number.

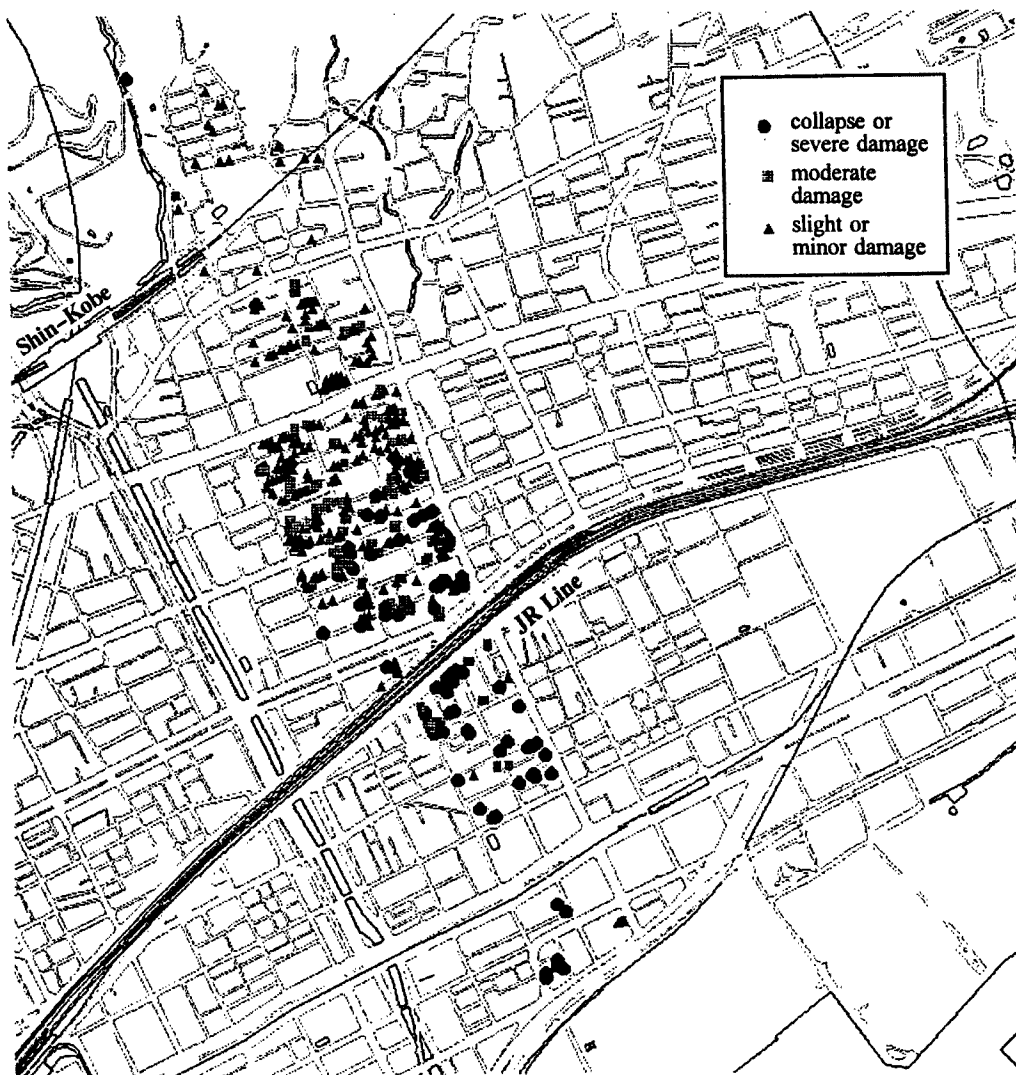


Fig. 3 Distribution map of damaged wood houses in District 16.

できない、特に、道路に面した1階部分には出入り口と窓が設けられるため、壁を配置する余裕が無いため、1階部分が梁間方向に傾斜、倒壊している（Photo 2）。

Photo 3のような木造アパートでは、1戸当たりの間口が狭く、間口の狭い1戸建住宅と同様に、1階部分に壁配置が不適切なため、総じて1階部分が長手（桁行）方法に傾斜あるいは倒壊している。

店舗併用住宅では、1階道路側に大きな開口部を設け、店内には壁が十分に配置されないため、1階部分が大変形を起こしたり、圧壊して全面道路に迫り出したり倒壊しているものが多数みられた（Photo 4）。同様に、1階部分を駐車場にしているピロティ形式の木造住宅で、1階部分が崩壊している例も頻繁に見かけた。

重い屋根を持ち、壁の無い神社建築は、Photo 5に見られるように完全に倒壊している）。

建物全体が倒壊するなど大きな被害を受けた木造建物の多くは、土葺き瓦屋根を持つものであった。台風が多く、夏の暑い西日本では、重しとして瓦葺き屋根が多く用いられており、さらに、断熱効果をもつ泥土を厚く敷き詰め、その上に瓦を貼り付けていくため、土と瓦でかなりの重量となる。しかも土塗り壁の場合には、筋かいが少ないものが多い。このように、耐風性や断熱性を重視した重い屋根に見合うだけの柱や壁の耐力が無かったことが原因として考えられる。

木造建物の破壊の形態で最も多いのは、1階部分の傾斜や倒壊である。通し柱の折れ曲がり（Photo 2）



Photo 1 Collapse of a wood house with heavy Japanese roofing tiles on cementing soils.

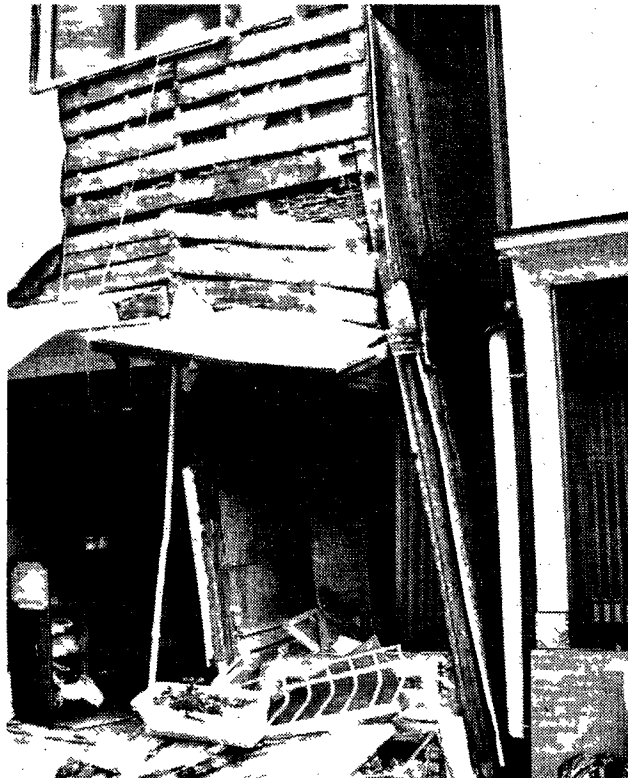


Photo 2 Severely damage to a wood house with narrow wide at first story.



Photo 3 Collapse of inner-connected wood apartmenthouse.



Photo 4 Collapse of wood houses with retail space.



Photo 5 Collapse of a shrine with heavy roofing.



Photo 6 Failure of poor column-to-base connection.

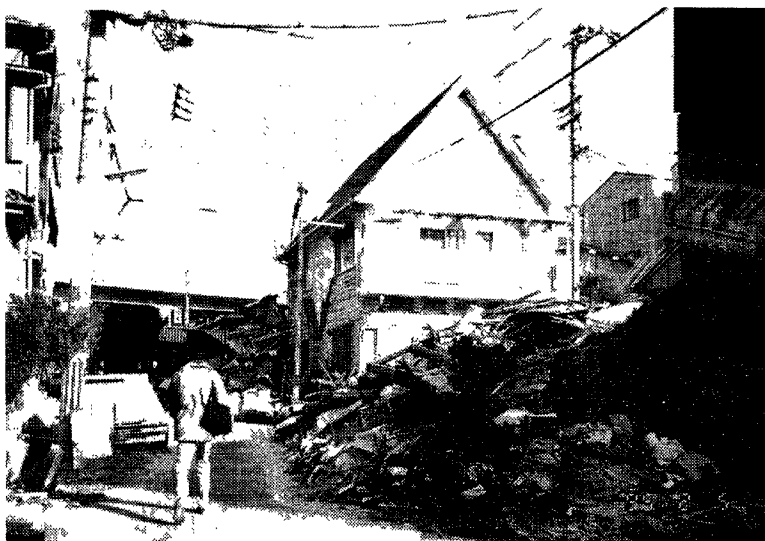


Photo 7 Minor damage of a new three-story wood house.

や柱と胴差、柱と土台の仕口の破壊（**Photo 6**）によるものである。2階の南面に大きく開口部を設けたため、2階部分のみが大きく傾斜あるいは倒壊しているものもある。

一般に、古い建物では、壁量が少なく、筋かいが無いものも多く、また仕口や継手が緊結されていないものが多い。一方、**Photo 7**のような新しい3階建木造建物は、建築基準法施行令により、壁量や接合部の金物補強などの規定が2階建のものより厳しいこともあって、概ね大きな被害を受けていない。

防火のために多用されていたモルタル外壁の亀裂・剥落が著しく、ラスモルタルは外装材としての耐力を発揮するには至らないばかりか、劣化したモルタル外壁は、雨水が内部に入り、柱や土台の腐朽や白蟻被害の一因にもなっている。このように建物としての防火耐火性、耐風性、断熱性などの機能とデザインや経済性と併せて、耐震性の向上を計る必要がある。

木造建物は、工法も多種あり、用途も多様であるので、被害原因の究明と耐震対策の策定を行うには、今後の詳細な調査が必要となる。また、構造的な観点のみならず間取りなどの設計計画的な観点からも木造建

物の耐震性向上に取り組むことが重要である。

4. コンクリート系および鉄骨造建物の被害

4.1 コンクリート系および鉄骨造建物の被害分布

中央区におけるコンクリート系（鉄筋コンクリート造および鉄骨鉄筋コンクリート造）および鉄骨造建物の被害棟数を各地区別に被害レベルに対応してTable 2に示す。なお構造種別の不明なものは除外している。この表をグラフで示したのがFig. 4である。これらから、大破あるいは倒壊した建物は、コンクリート系および鉄骨造建物でそれぞれ207棟、150棟になる。位置的には、10地区および11地区の三宮駅を中心とする地域に被害が多いことが判る。次いで、18および19地区の地域と1および2地区の神戸駅周辺地域が多い。18および19地区において被害が多いのは、これらの地区の南部地域に工場建築が多く、それらが大きな被害を受けたためである。

Fig. 5は、コンクリート系建物の被害分布を示す。Fig. 6に、鉄骨造建物の被害分布を示す。なお、これらの図において、生田川を挟む地域（14および15地区）と中央区東端（20地区）などの地域ではデータ入力が未完了のため、プロットされていないことに注意。これらの被害分布図から、被害の大きい地域は三宮駅周辺でJR線を挟み北側から南にかけて広く分布している。また、春日野駅の南側（筒井町、脇浜町）の工場地帯と神戸駅周辺に被害が集中していることが判る。

以下に、対象建物をコンクリート系（鉄筋コンクリート造・鉄骨鉄筋コンクリート造）と鉄骨造に分けて被害状況をまとめる。

4.2 コンクリート系建物の被害状況

コンクリート系建物の多くに大きな被害を受けているが、大破や倒壊の大被害を生じた建物は1981年のいわゆる新耐震設計法の施行以前に建設されたものに多い。コンクリート系建物の被害形態としては様々な形となって現れているが、特に、1階、中間層あるいは上層階など特定の層に被害が集中して大被害を引き起こしたと考えられる建物が目立った。

コンクリート系建物の大破、倒壊などの大被害に至った被害形態を、以下のように分類し、被害状況をまとめる。

(1) 1階部分の崩壊

倒壊・大破したコンクリート系建物の最も多い被害形態は1階部分の崩壊であった。

ピロティ形式の建物

1層部を駐車場または開口部の広い店舗等とし上層部を集合住宅や事務所として使われたピロティ形式の建物でピロティ部分の崩壊が数多く見られた。

このようなピロティ形式の建物では、ピロティ部の水平剛性が上層部よりも小さく、この層に変形、損傷が集中した。また、ピロティ部の耐震壁が偏って配置されたためねじりが生じた。このようなことから、ピロティ部の柱が柱頭・柱脚で曲げ破壊を生じたり、せん断耐力の不足から崩壊している。

1層部分の崩壊による大破・倒壊した建物をPhoto 8~Photo 10に示す。Photo 8に示す建物は、1階部分が駐車場になっており、Photo 9のように1層の柱が圧壊して倒壊している。写真の柱の帯筋間隔は約11cmであった。

従来から、ピロティ形式の立面的、平面的な剛性の偏りは構造計画上の問題となっており、新耐震設計法では、剛性率、偏心率に制限を設け、これを満たさない場合には必要保有水平耐力の割り増しを行うなどの配慮がなされている。しかしながら、新耐震以後に建てられた建物でもピロティ部が崩壊しているので、この構造形式の場合には、耐力や靱性の確保に十分な注意が必要となる。

Table 2 Numbers of damaged reinforced concrete and steel buildings at each district in Chuo Ward.

reinforced concrete structures

district	collapse	severe damage	moderate damage	minor damage	slight damage	total
1	4	4	12	37	51	108
2	0	4	4	14	9	31
3	0	1	0	7	14	22
4	1	0	4	0	18	23
5	1	0	0	16	188	205
6	0	3	4	7	36	50
7	2	15	29	78	91	215
8	2	8	19	24	26	79
9	4	13	6	7	36	66
10	20	21	27	40	144	252
11	21	22	9	18	44	114
12	3	10	12	6	32	63
13	2	7	21	33	85	148
14	3	2	5	8	14	32
15	0	2	1	4	3	10
16	0	0	7	8	67	82
17	1	1	0	2	9	13
18	5	7	10	21	49	92
19	9	4	4	4	5	26
20	3	2	1	5	1	12
total	81	126	175	339	922	1643

steel structures

district	collapse	severe damage	moderate damage	minor damage	slight damage	total
1	1	4	22	26	29	82
2	1	0	4	15	4	24
3	2	2	7	10	9	30
4	0	0	1	7	6	14
5	1	2	3	12	34	52
6	1	2	3	3	13	22
7	2	12	33	46	21	114
8	6	13	21	25	32	97
9	1	8	8	12	16	45
10	11	13	12	35	63	134
11	5	5	6	12	33	61
12	6	6	11	15	17	55
13	1	5	13	22	29	70
14	1	1	5	7	12	26
15	0	0	1	5	4	10
16	0	9	6	10	45	70
17	3	1	3	4	16	27
18	11	7	18	25	20	81
19	3	4	6	5	0	18
20	0	0	0	2	9	11
total	56	94	183	298	412	1043

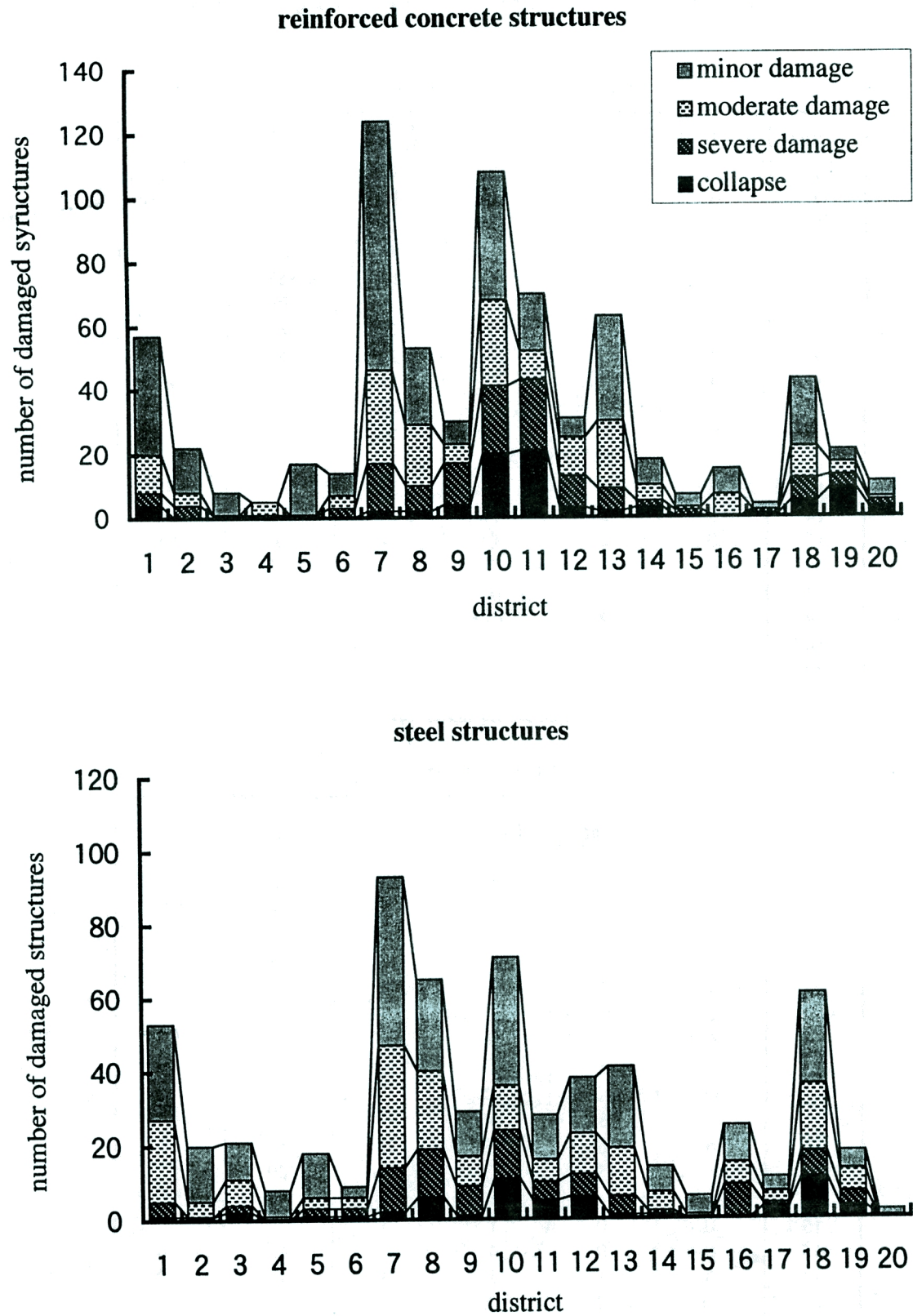


Fig. 4 Damage level of reinforced concrete structures and steel structures at each district in Chuo Ward.

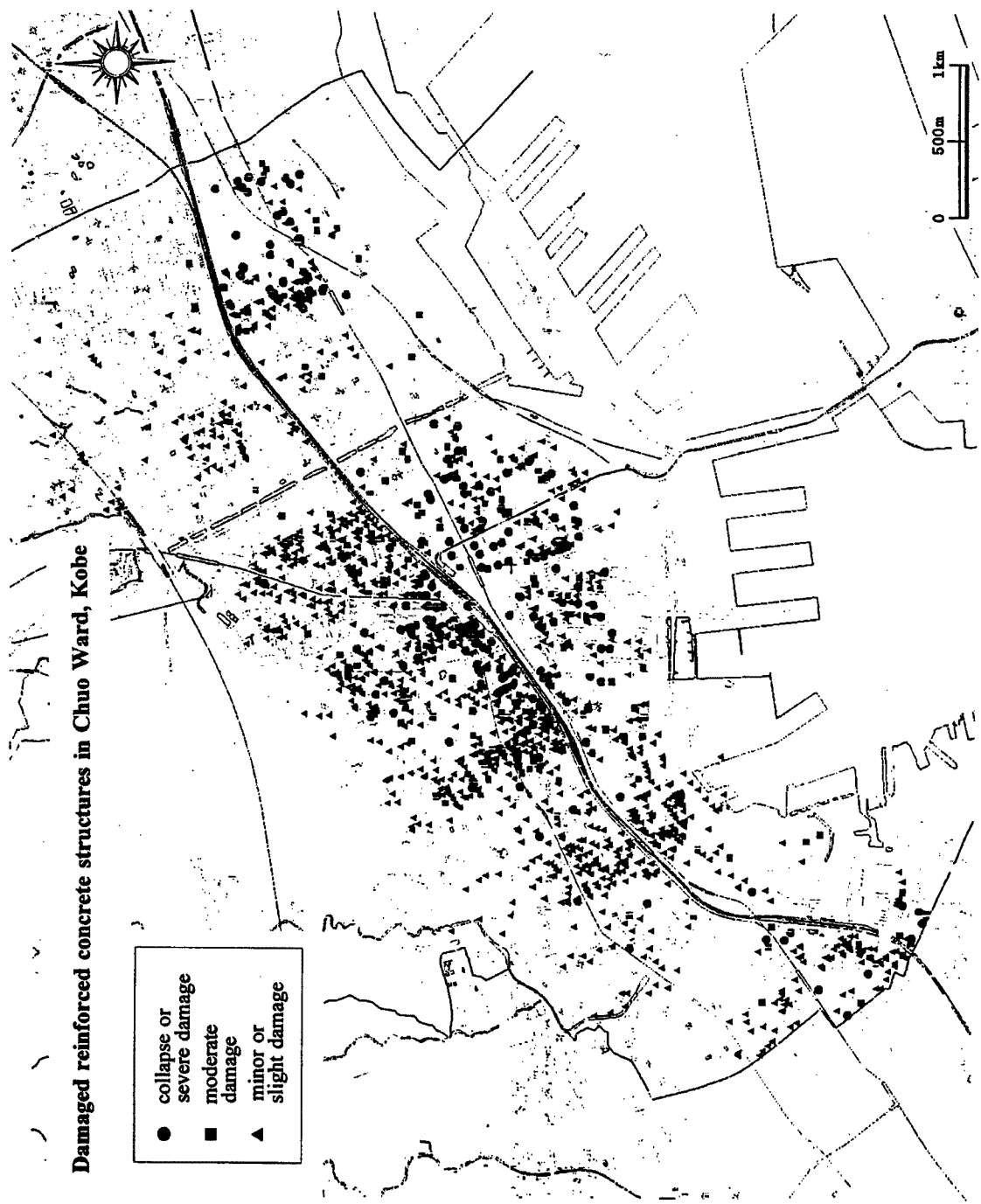


Fig. 5 Distribution map of damaged reinforced concrete structures in Chuo Ward.

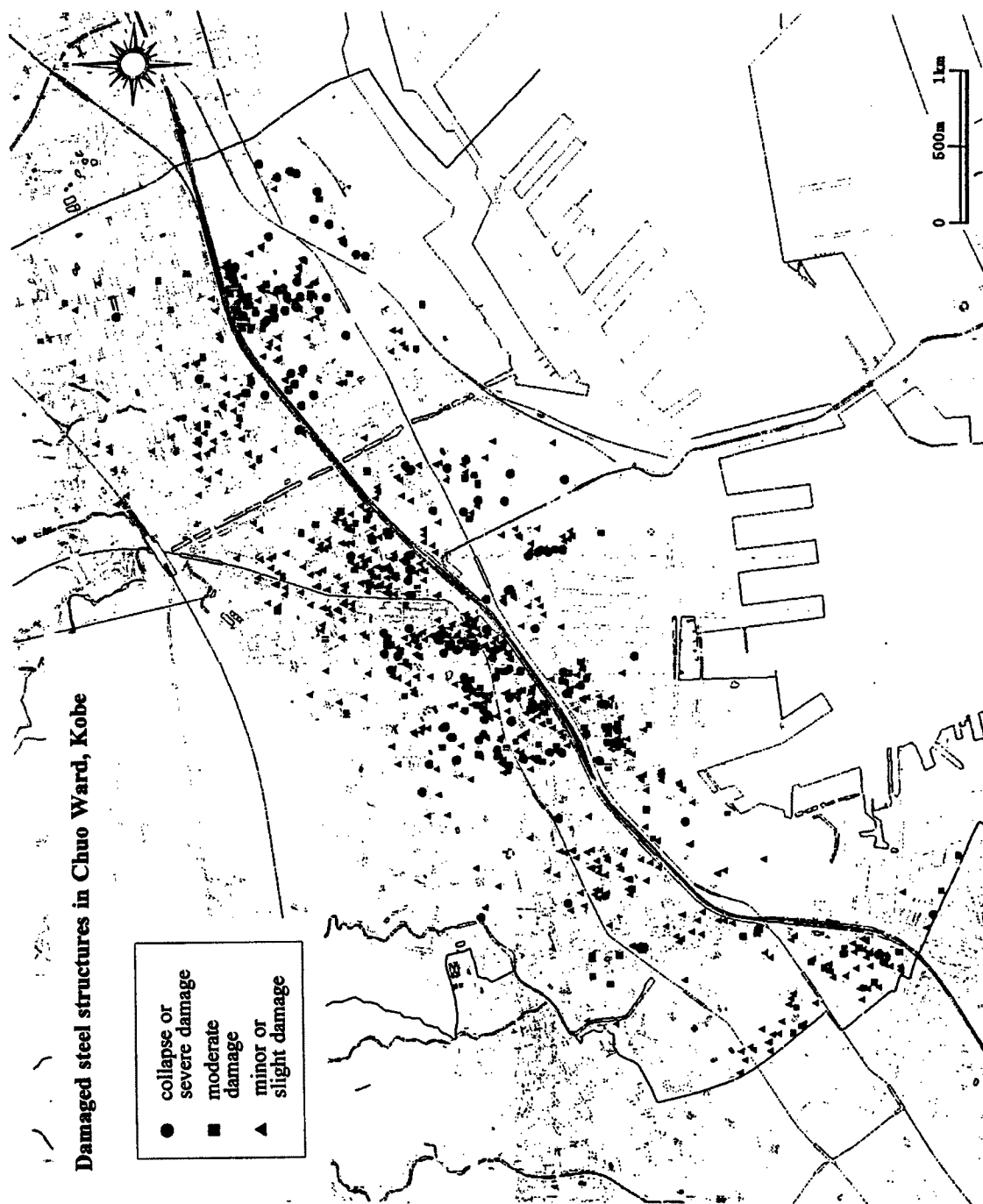


Fig. 6 Distribution map of damaged steel structures in Chuo Ward.



Photo 8 Apartment building with first story collapse.



Photo 9 Crushed first story column of the building shown in Photo 8.

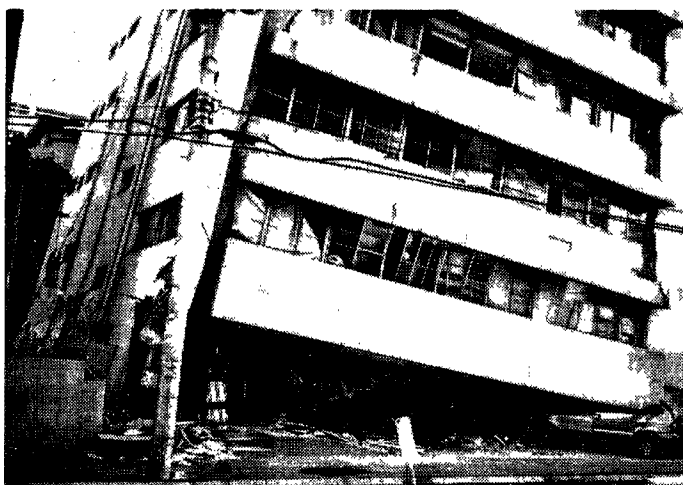


Photo 10 Collapse of the first story of 6-story building.

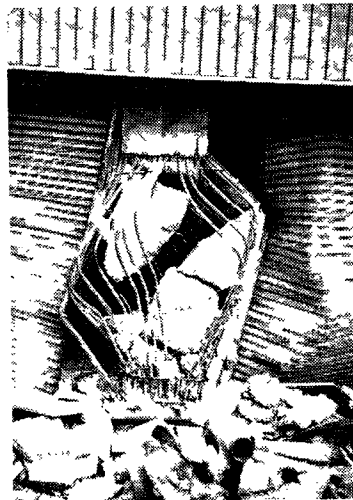


Photo 11 Shear failure of the first story column.

短柱部のせん断破壊

1階の柱、特に腰壁・垂れ壁が付いているいわゆる短柱がせん断破壊した建物も多い。このような破壊形式は新潟地震や十勝沖地震による被害で多く見られたため、1971年に鉄筋コンクリート構造計算規準が改定されている。従って、改定以前の建物では、柱のせん断補強筋量が少なく、その間隔も20~30cm程度となっており、せん断補強筋量の不足により柱が脆性的に破壊しているものが多く見られる (Photo 11)。

(2) 中間層の層崩壊

今回の兵庫県南部地震による建物の特徴的な崩壊形式として、三宮周辺の中高層オフィスビル群で中間層が完全に潰れた層崩壊を挙げることができる。中央区内で層崩壊した建物は、大破・倒壊した建物の10%以上になる。中間層が層崩壊したコンクリート系建物の写真をPhoto 12~Photo 15に示す。

中間層の層崩壊した建物の多くは、6~12階程度の中高層建物であり、さらに構造種別が確認できた建物の多くは、鉄骨鉄筋コンクリート造であった。このような層崩壊を引き起こした原因の究明には、構造詳細が現段階では不明であるため、詳細な調査と設計図書や施工図書などによる検討が必要であるが、この崩壊形式を引き起こした原因として以下のような可能性が指摘される。

1) 現行の新耐震設計法の基準で建てられた建物で中間層の層崩壊した例は、今回の調査では見られなかった。新・旧基準の違いの1つに設計用地震層せん断力がある。

新基準では建物高さ方向の設計地震せん断力係数の分布が上層部ほど大きくなるように改められており、旧基準では、中層部から上層部にかけて層せん断力が新基準より小さくなるが、最小鉄筋量の規定から最上層近くでは一定以上の耐力を有している。従って、旧基準で建てられた建物では、相対的に中間層で最も水平耐力が小さくなっていると考えられる。今回の地震により新基準で想定した地震せん断力分布に近いせん断力が作用したとすれば、旧基準の建物では上層部、特に中間層で水平耐力が不足していたことになる。

新耐震設計法のもとでは、梁降伏形の破壊形式になるよう構造設計がなされるようになったが、旧基準では柱降伏形になりやすく、また柱の靱性能力も小さい建物が一般に多く、このような状況では、特定の層に破壊が集中する可能性が十分にある。

2) 下層部は鉄骨鉄筋コンクリート造で上層部は鉄筋コンクリート造のように構造形式が中間層で変更されている建物の場合に、構造形式が変わる層に被害が集中して層崩壊した。Photo 12はその例である。20m以上、31m以下の中高層建物で旧基準で建てられたものの多くはこの混用構造形式と考えられる。

また、1975年以前の鉄骨鉄筋コンクリート造建物では、Photo 15に見られるような山形鋼を主材に帯板を腹材にした格子形SRC (非充腹形鉄骨) が多用されていた。この格子形SRC造が塑性変形能力を発揮

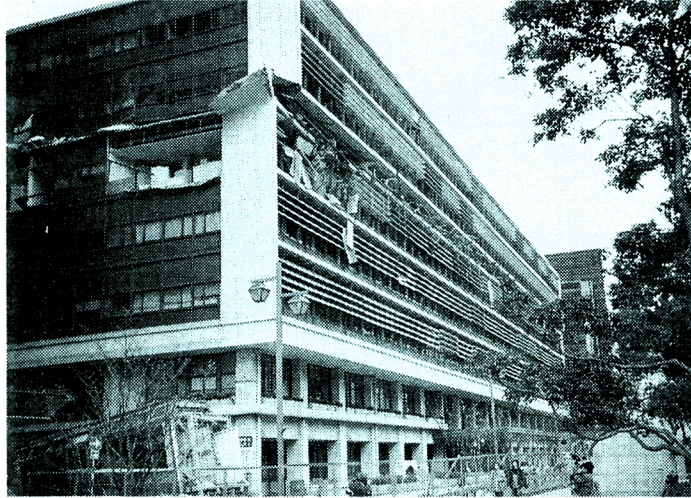


Photo 12 8-story building with a collapsed 6th story.



Photo 13 9-story building with a collapsed 5th story.



Photo 14 7-story building with a collapsed 3rd story.



Photo 15 6-story building with a collapsed 4th story.

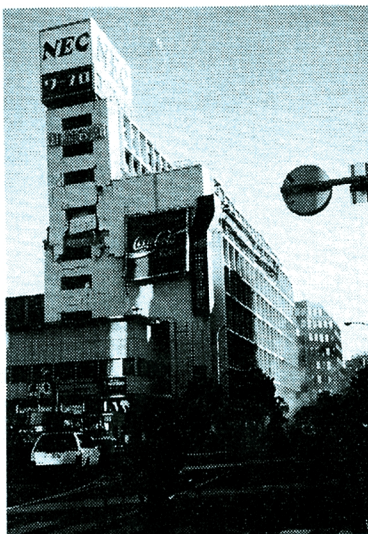


Photo 16 7-story building with a collapsed 5th story at setback.



Photo 17 Collapse of upper stories.

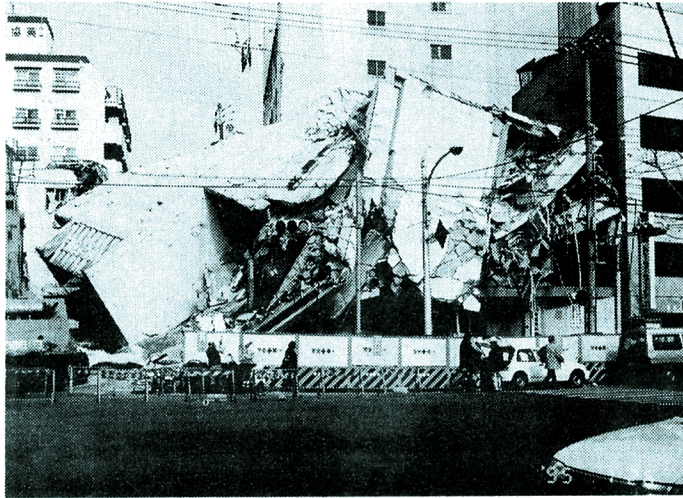


Photo 18 Collapse of 6-story building.



Photo 19 Collapse of a factory building.

することなく崩壊したことも中間層崩壊の理由として挙げられる。

3) 神戸海洋気象台で観測された加速度記録の速度応答スペクトルから、水平動が0.8～1.0秒付近に卓越周期を有していることが判っている。また、中高層コンクリート系建物の固有周期に当たる0.4～0.6秒にも卓越した成分を有している。場所によって地震動特性は異なるが、このような地震外乱を受け、建物の応答が増大し、塑性化や損傷による劣化に伴って、さらに応答を増幅させた可能性が指摘される。

4) 直下型地震の特徴といわれている強い上下動が水平力と同時に作用したことも原因として指摘される。鉄筋コンクリート柱部材のせん断耐力は軸方向応力に大きく影響され、柱軸力が低下するとせん断耐力は大きく低下する。一方、高い軸力を受けると柱の靱性が低下する。水平動による軸力変動に加えて上下動の影響によって柱の耐力低下や靱性低下を招き、層崩壊の一因となったと考えられる。

以上、層崩壊の要因として可能性のあるものを述べたが、現実にはこのような要因が複雑に絡みおり、また、個々の建物においては、さらに増築、改築など異なる事情が加わるものと考えられる。

(3) セットバック部および屋上突出物の破壊

Photo 16のように中間層崩壊した建物では、セットバックなどによる剛性率の変化が起因していると考えられるものもある。また、Photo 17に見られるようにセットバックしている建物の高層部に大きな被害



Photo 20 Collapse of 3-story steel structure.

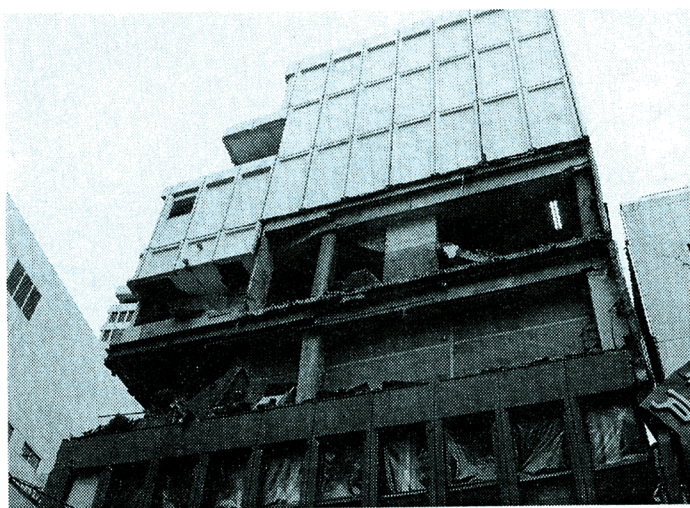


Photo 21 Steel structure with large deformation.

が生じている。

屋上の突出部として、塔屋部、火の見櫓、煙突、共同アンテナなどが転倒、倒壊した例が見られた。これらの例では、建物本体としては軽微な被害であっても、構造の立面的に不連続な箇所では、地震力が大きく作用することを示している。

(4) 全体崩壊

コンクリート系建物の被害パターンとして、**Photo 18**に見られるように原形を留めないような崩壊もある。ちなみに写真の左側に屋上階が落下している。また、**Photo 19**のような1方向に長い工場建物では、建物中央部が大きく崩壊したものもある。

その他には、建物のエキスパンション・ジョイント部での破損、隣接の建物間の渡り廊下の落下、隣接の建物同士の衝突により隙間の空いたものや一方が突き倒されるなどの被害が多くあった。

4.3 鉄骨造建物の被害状況

鉄骨造建物も多くの被害を受けており、住宅あるいは店舗併用住宅などの間口が1~2スパンの小規模な軽量鉄骨造建物に大破・倒壊などの大きな被害が多く見られた (**Photo 20**)。これらの建物は、概して建設



Photo 22 Steel structure with loss of cladding.

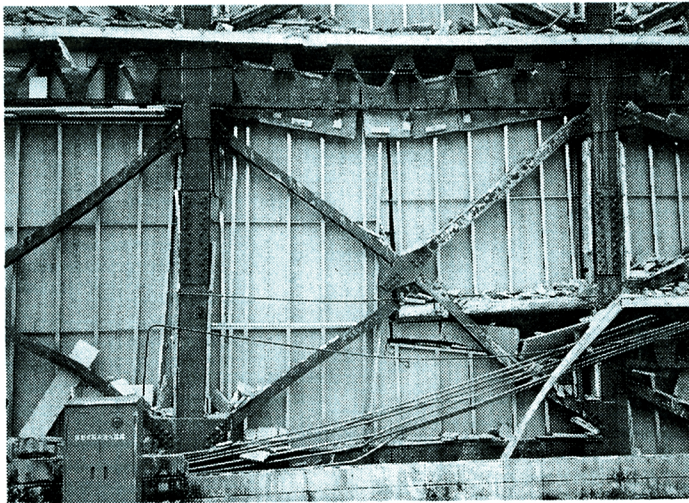


Photo 23 Failure of bracing members.

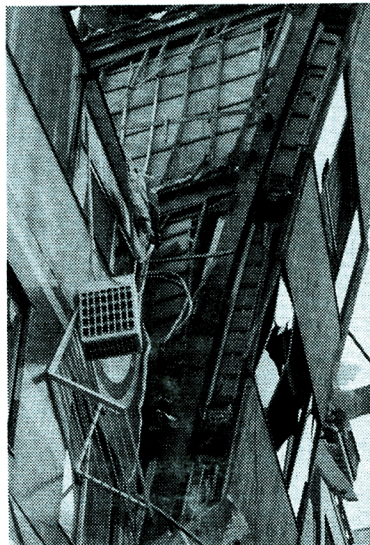


Photo 24 Steel structure with large deformation (failure of braces)



Photo 25 Pull-out of anchor bolts.



Photo 26 Failure of anchor bolts.

年代が古く、部材あるいは柱脚部の腐食も著しいものが随所にみられ、またブレースや柱・梁接合部の破断などが破壊の原因となったと考えられる。事務所やマンションなどの中高層鉄骨造建物についても中破以上の大被害を受けた建物もある（**Photo 21**）。

それらの典型的な被害は、1) 外装材の剥離・脱落、2) ブレースの座屈・破断、3) 柱脚部の破損、4) 柱・梁接合部の破断などである。

1) 鉄骨造建物は、大きな骨組の変形が生じるため、外壁や内壁が変形に追従できず剥離や脱落した例が多数見られた（**Photo 22**）。

2) 鉄骨造建物では大きな水平力を負担するブレースの座屈や破断は多く見られ（**Photo 23**），ブレースの座屈・破断により，**Photo 24**に見られるように大きな塑性変形を生じた建物もあるが，一方では，ブレースの座屈や破断に留まり，柱や梁の主要骨組には大きな被害を生じていない建物も多い。

3) 隅柱脚部分が損傷を受けた建物も多く挙げられる。**Photo 25**は、1層柱脚部ベースプレートのアンカーボルトの抜け出しを示している。**Photo 26**のように1層柱脚部のアンカーボルトが破断し、柱脚が約1mほど横移動しており、1層が崩壊している。このように、アンカーボルトの破断や抜け出しによる1階柱の浮き



Photo 27 Failure at the top of column.



Photo 28 Failure of welded part at the beam end.

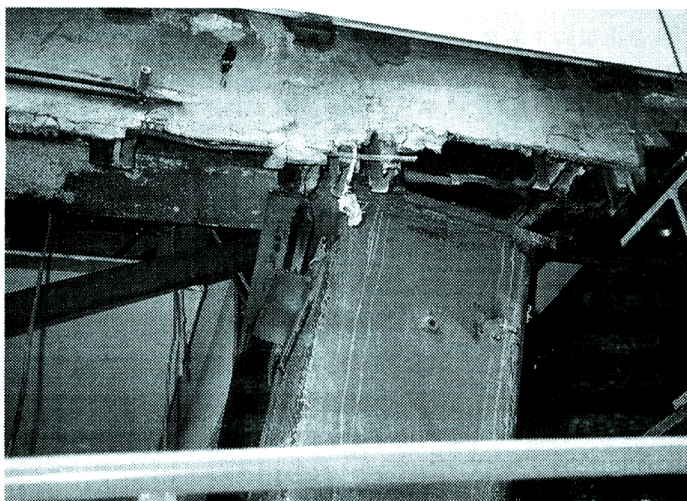


Photo 29 Failure at the top of column.

上がりや横移動が生じたことが、建物の傾斜や崩壊などの被害を引き起こした原因と考えられる。このような被害例から、地震の水平動による転倒モーメントのみでなく強い上下動があったことが推察される。

4) 大破や倒壊した鉄骨造建物の特徴として、まず、柱・梁接合部の破断が挙げられる。**Photo 27**は2階柱柱頭部における角形鋼管柱とダイヤフラム部との溶接部が破断し、2階部分から崩壊した例である。一般に、大梁端部フランジの溶接部破断(**Photo 28**)や柱頭部の破断(**Photo 29**)に見られるように、大きな曲げモーメントが生じる柱・梁接合部において、骨組の塑性変形能力が発揮されることなく破壊に至ったと考えられる。

5. 建設年代と被害

5.1 コンクリート系および鉄骨造建物の建設年代と被害

建物被害は、建設年代に強く依存すると考えられるため、建物の被害レベルに加えて建設年の調査を三宮駅南側のフラワーロードを挟む東側および西側のビル群を対象に行った。建設年の調査可能な建物は、コンクリート系80棟、鉄骨造25棟であった。それらの建物の被害レベルと建設年代との関係を**Fig. 7**に示す。ここでは、1971年に日本建築学会の鉄筋コンクリート構造計算規準の改訂と同時に基準法施行令の鉄筋コンクリート造関係規定が改正され、柱のせん断補強の強化がなされたことと、1980年に建築基準法施行令の改正が公布され、翌1981年にいわゆる新耐震設計法になったことを考慮して、1971年以前、1972年～1981年、1982年以後の年代に区分した。鉄骨造建物に関しても同じ年代で区分した。なお、これらの計算規準や耐震設計法の改定、改正が最も密接なのは、建物の設計年代であるが、設計年は調査できなかったので建設年を用いた。図から、1971年以前の建物は、大破・倒壊などの大被害を受けているが、1982年以後の建物は比較的小被害に留まっていることが判る。これより、限定された地域と建物棟数ではあるが、また、建物の経年劣化が被害レベルに及ぼす影響も有るが、構造計算規準および耐震設計法の改定・改正が被害を減少させるのに有効に機能したと考えられる。

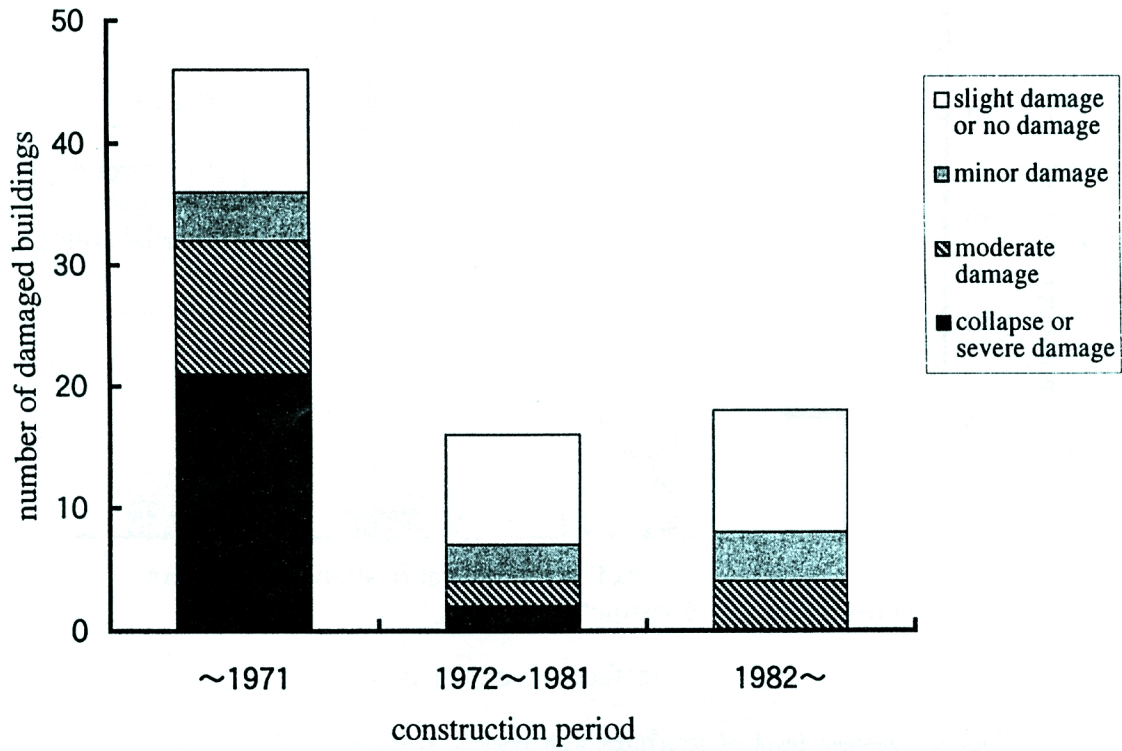
5.2 木造建物の建設年代と被害

芦屋市および西宮市における主として木造建物の外観による被害調査およびアンケートによる調査^{6)～10)}に基づいて、木造建物の被害状況と建設年代との関連についてまとめる。建物の構工法別被害を**Fig. 8**に示す。特に、木造軸組構法について建設年代別被害を**Fig. 9**に示す。

木造建物に関する構造規定は、1950年に建築基準法とその施行令が制定され、筋かいの使用や壁量の規定などが盛り込まれた。その後、1959年、1971年および1980年の建築基準法施行令の改定において、壁量規定の強化や基礎の強化など改良を重ねて現在に至っている。また、住宅金融公庫の融資制度が制定され、具体的な施工法を記した木造住宅工事共通仕様書(1950年制定)が作成され、初めてコンクリート布基礎を義務づけるなど公庫の共通仕様書による改良が木造建物の耐震性向上に貢献してきている。このように調査地域の木造建物の耐震性能は、建物の老朽化や施工技術、維持管理のばらつきに加えて、基準法の規定により、相当大きく変動していると考えられる。

ここでは、建設年代を明治・大正(1925年以前)、昭和初期～25年(1926年～1950年)、昭和26年～55年(1951年～1970年)、昭和56年(1971年)以降に区分した。**Fig. 8**において、在来軸組構法の木造建物は、他の木造枠組壁工法、プレハブ、コンクリート系や鉄骨系建物より大きな被害を示しているが、在来構法の木造建物は、他の構法のものに比べて建設年代は幅広く分布しており、古い建物が多い。**Fig. 9**から、全壊、半壊など大きな被害を受けたものは概ね建設年代の古いものであり、昭和56年以降では全壊、半壊は少なく、一部損壊などの軽微なものが多くなっていることが判る。

reinforced concrete structures



steel structures

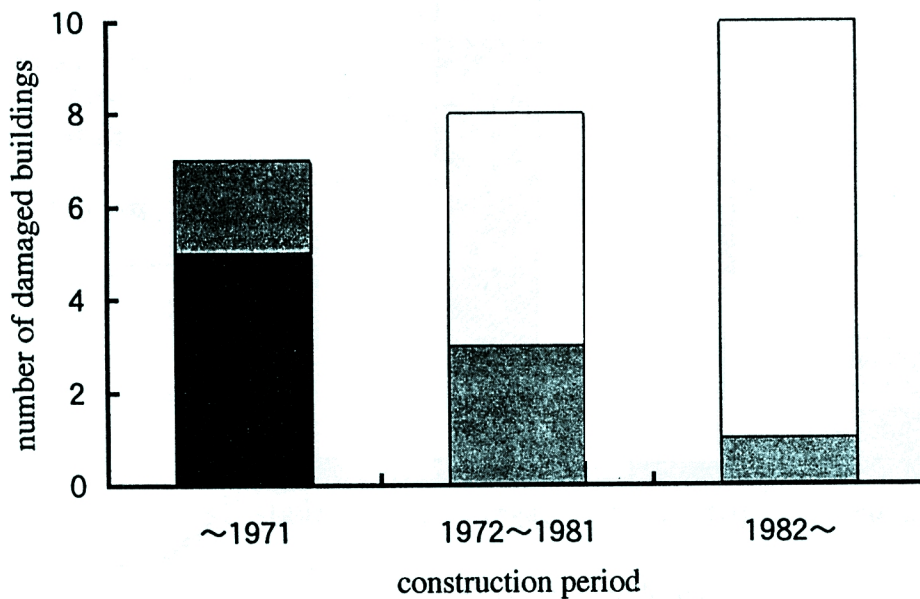


Fig. 7 Damage level of reinforced concrete structures and steel structures with respect to the year of construction.

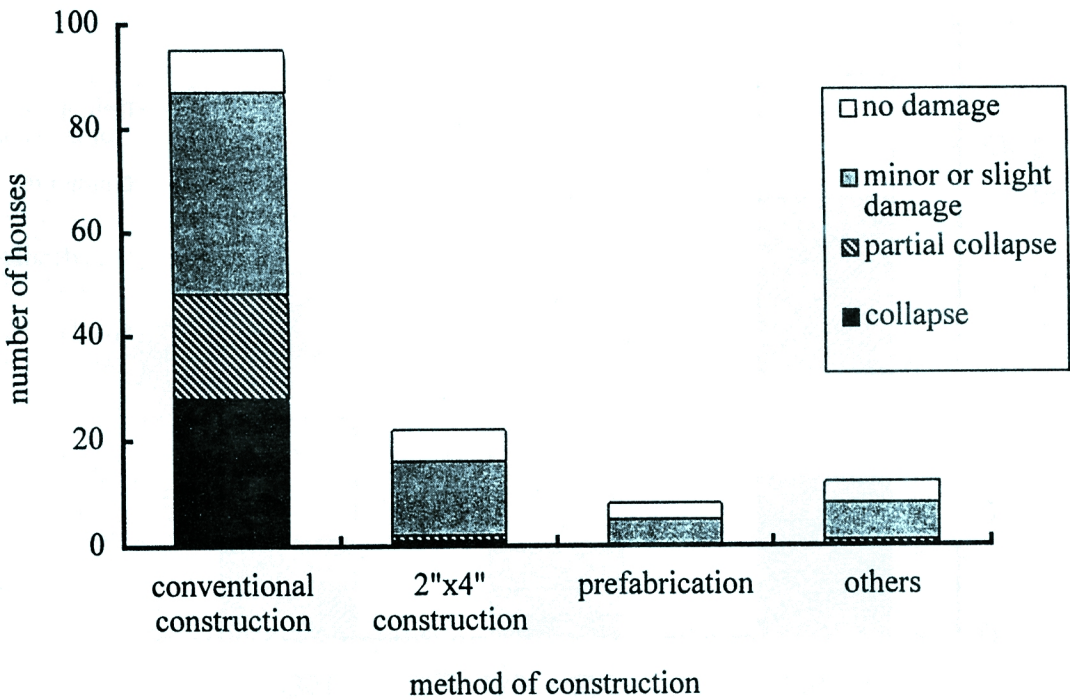


Fig. 8 Damage level of structures with respect to the method of construction.

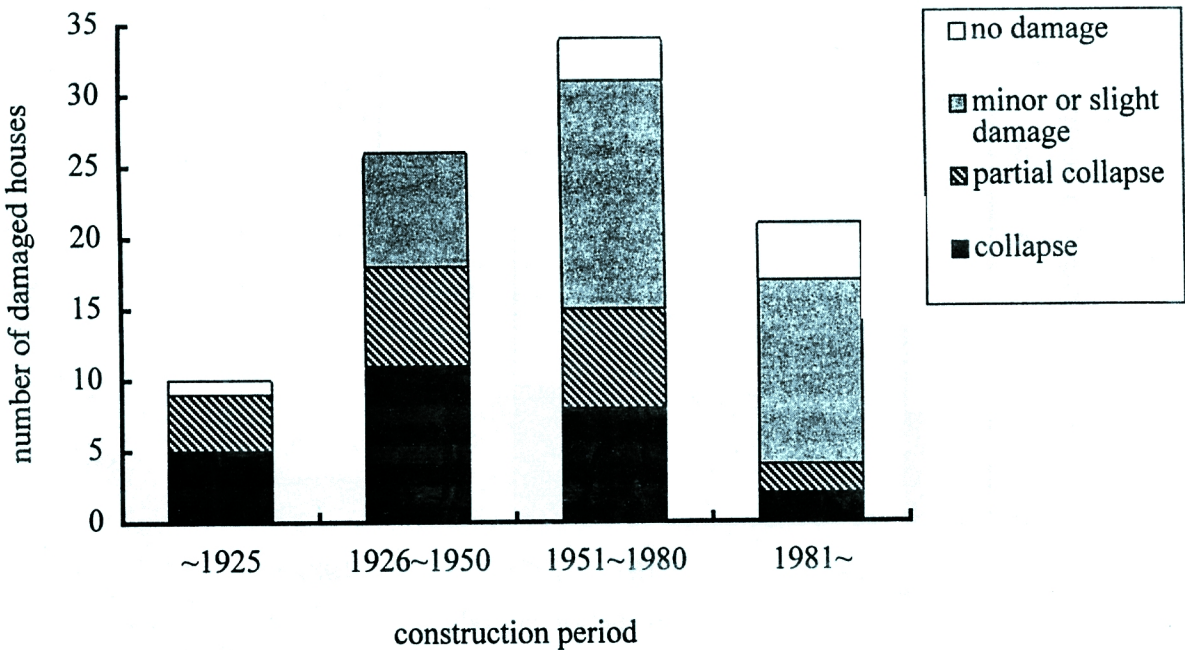


Fig. 9 Damage level of conventional wood houses with respect to the year of construction.

6. 今後の課題

建築構造物の被害は、被害状況で述べたように構造種別、用途、場所などにより多様な被害の様相があり、個々の建物についての詳細な調査が待たれる。なお、本報告中の被害建物の統計や分布は、現在も資料の整理、整備を行いつつあるため、今後改訂されることにご注意いただきたい。

今回の地震では、各地で大きな水平加速度や速度が観測されたが、上下動についても大きな値となっている。上下動が建物の応答や損傷に与える影響については、未だ研究は十分になされていない。従って、水平および上下の多次元地震入力に対する建物の多次元挙動とその元での破壊機構を明らかにする必要がある。また、写真で示したように中央区三宮周辺で多く見られた1層あるいは特定の間層に被害が集中して層崩壊した建物について、様々な観点から原因を究明することも課題の1つとして挙げられる。

建物の建設年代と被害との関連性において述べたように、旧基準や旧構造計算規準および設計法の基で設計されたコンクリート系および鉄骨造建物は大きな被害を受けており、今回の被災地のみならず多くの都市においても同様であるので、このような既存建物の補強対策が早急に検討されなければならない。特に、木造家屋の倒壊は多くの犠牲者を出した原因となっており、老朽化した木造建物の対策や既存木造建物の耐震補強等による耐震性の向上が必要であることを指摘している。

都市の市街地形成は、時代とともに変遷しており、建物の建設年代、構造形式、工法が地域的に集中あるいは分散してきており、このような現状を踏まえて、今後の詳細調査により建物被害の原因の解明や地形、地盤条件との関係などが明らかにされ、建物の耐震安全性や都市防災の向上が望まれる。

本報告で掲載した被害分布図等の作成は、当研究所都市施設耐震システム研究センターで開発中のGISによるものであり、特に、中央区の被害分布図は岩井 哲、北原昭男助手が作成を担当した。芦屋市および西宮市における木造建物の被害調査は、2月18日から19日まで、調査メンバーとして、鈴木祥之、標 智仁、中治弘行、北山宏貴（京都大学防災研究所）、東樋口 護、橋本清勇、真鍋 聡（京都大学工学部）の他、木の文化研究会、京都国際木造建築カレッジや工務店、設計事務所の方々にもご協力戴きました。また、被災地での建物外観調査やアンケート調査では、住民の方々など多くの方にご協力を賜りました。ここに厚くお礼を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 1995年兵庫県南部地震災害調査緊急報告会資料，日本建築学会
地震災害調査WG，1995年2月。
- 2) Fujiwara, T., Y. Suzuki, M. Nakashima, S. Iwai, A. Kitahara and M. Bruneau: Overview of Building Damage from the 1995 Great Hanshin Earthquake, Preliminary Report on the Great Hanshin Earthquake of January 17, 1995, Special Issue DPRI News Letter, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, pp. 13-20, 1995.
- 3) 1995年兵庫県南部地震災害調査速報，日本建築学会，1995年3月
- 4) Nakashima, M., T. Fujiwara, Y. Suzuki, M. Bruneau, S. Iwai and A. Kitahara: Damage to Engineered Buildings from the 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake, J. of Natural Disaster Science, Vol. 16, No. 2, 1995, pp. 71-78.
- 5) Suzuki, Y., T. Fujiwara, M. Nakashima, M. Bruneau, S. Iwai and A. Kitahara: Overview of Building and Damage to Wood Houses from the 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake, J. of Natural Disaster Science, Vol. 16, No. 2, 1995, pp. 79-87.
- 6) 橋本清勇・中治弘行・東樋口護・鈴木祥之：兵庫県南部地震による木造建物の被害，その1 調査地域と被害状況，日本建築学会近畿支部研究報告集，1995，pp. 225-228.

- 7) 中治弘行・橋本清勇・東樋口護・鈴木祥之：兵庫県南部地震による木造建物の被害，その2 建物概要と被害状況，日本建築学会近畿支部研究報告集，1995，pp. 229-232.
- 8) 鈴木祥之・東樋口護・橋本清勇・北山宏貴・標 智仁・中治弘行：1995年兵庫県南部地震による木造建物の被害，その1 建物外観調査とアンケート調査，日本建築学会大会学術講演梗概集，1995.
- 9) 鈴木祥之・東樋口護・橋本清勇・標 智仁・中治弘行・北山宏貴：1995年兵庫県南部地震による木造建物の被害，その2 被害分析，日本建築学会大会学術講演梗概集，1995.
- 10) 鈴木祥之・東樋口護・中治弘行・標 智仁・北山宏貴：芦屋市における木造建物の微動計測による振動特性，日本建築学会大会学術講演梗概集，1995.
- 11) 平成6年文部省科学研究費（総合研究A 代表者 藤原悌三）研究成果報告書，平成7年兵庫県南部地震とその被害に関する調査研究，1995年3月。

**DAMAGE TO ARCHITECTURAL STRUCTURES FROM
THE 1995 HYOGOKEN-NANBU EARTHQUAKE**

By Yoshiyuki SUZUKI

Synopsis

A large number of architectural structures suffered greatly from the Hyogoken-Nanbu Earthquake of January 17, 1995. From a detailed survey of disastrous damages in Chuo Ward of Kobe, general characteristics of seismic structural damages are outlined. The collapse or lost of a specified story at midheight is remarkable failure type for reinforced concrete structures.

The distributions of damaged structures according their damage levels are plotted for wood, reinforced concrete and steel structures in Chuo Ward. The damage distributions have a regional feature that when north to south, an increase of damage is shown. The relationships of damage level with the year and methods of construction are described.