






日本都市計画学会、日本建築学会、兵庫県による被災度調査に基づく

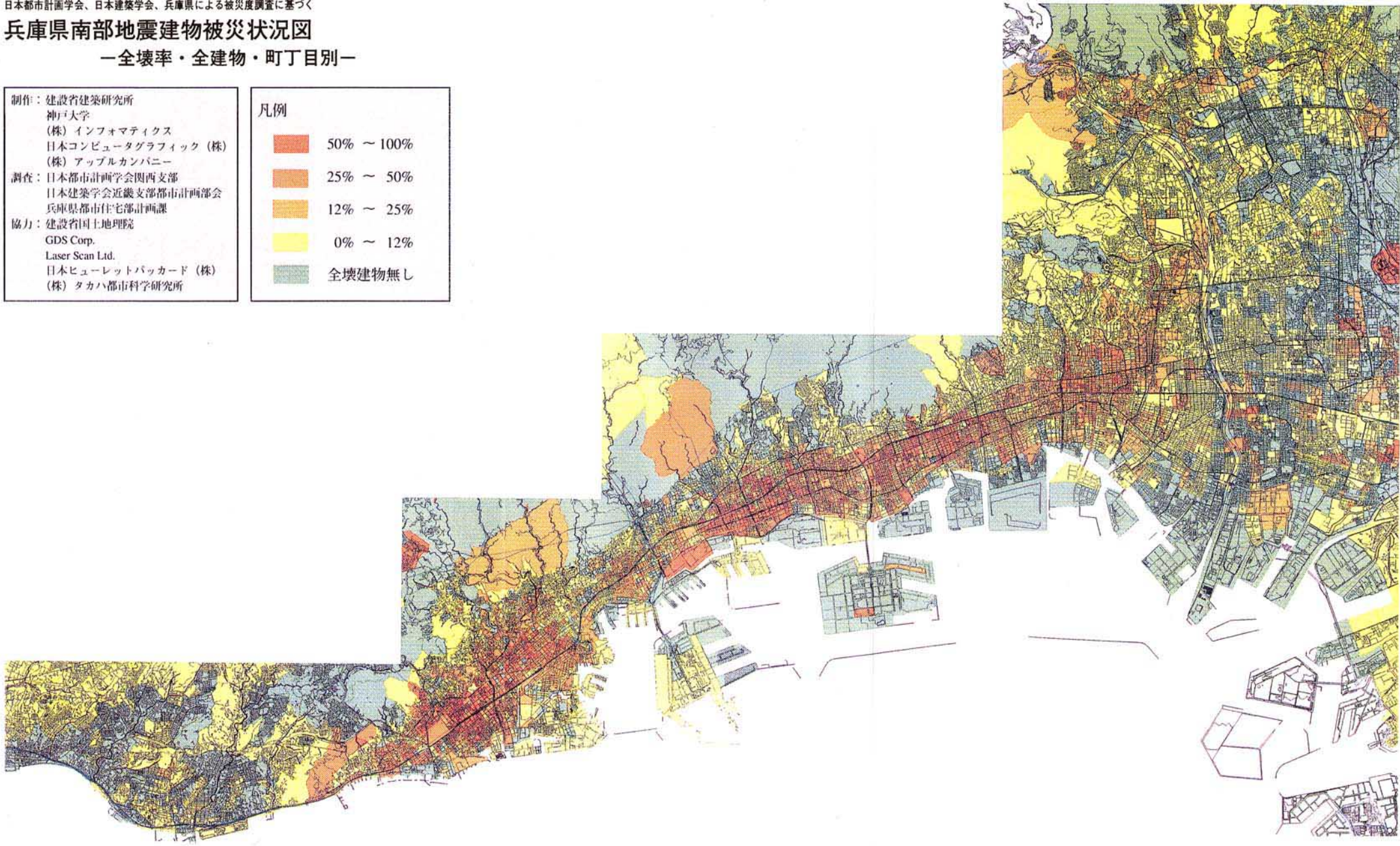
兵庫県南部地震建物被災状況図

—全壊率・全建物・町丁目別—

制作：建設省建築研究所
神戸大学
(株) インフォマティクス
日本コンピュータグラフィック(株)
(株) アップルカンパニー
調査：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
兵庫県都市住宅部計画課
協力：建設省国土地理院
GDS Corp.
Laser Scan Ltd.
日本ヒューレットパカード(株)
(株) タカハ都市科学研究所

凡例




	50% ~ 100%
	25% ~ 50%
	12% ~ 25%
	0% ~ 12%
	全壊建物無し

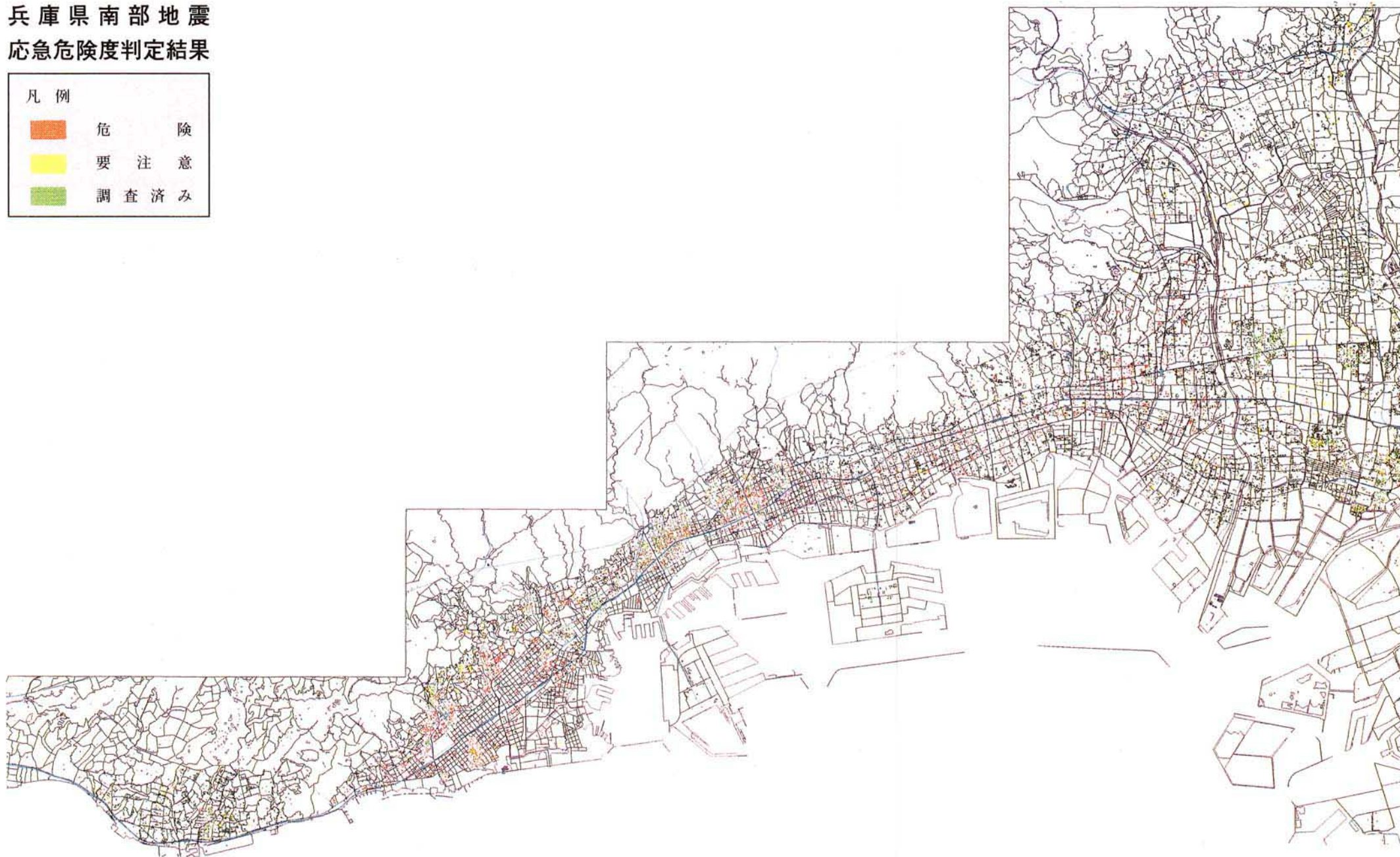


*本集計図は1/2,500都市計画図にある建物毎に被災度を入力したものを町丁目毎に棟数ベースで集計したものである。現在各棟毎に入力された被災度のデータチェックを行っており、暫定的な集計結果の出力図である。(2~3割程度の建物について修正が生じる見込みである)



兵庫県南部地震 応急危険度判定結果

凡例	
	危険
	要注意
	調査済み



*本図は作業途中のものであり、尼崎市において調査済みと判断された建物（約8,000棟）のうちの一部がまだ未入力である。

1. 建築震災調査委員会の活動について	1
はじめに	1
1. 1 委員会構成	1
1. 2 委員会の活動	2
1. 2. 1 緊急調査	2
1. 2. 2 外部団体調査結果の集約・分析	3
1. 2. 3 委員会メンバーによる現地調査	3
2. 被害状況のマクロ分析	6
2. 1 地震被害概要及び応急危険度判定について	6
2. 1. 1 地震及び被害の概要	6
2. 1. 2 『使用禁止』建築物の判定	7
2. 1. 3 応急危険度判定	7
(1) 概要	7
(2) 応急危険度判定要領	8
2. 2 マクロ調査結果の分析	10
2. 2. 1 建築震災調査委員会緊急調査結果のマクロ分析	10
(1) 建築震災調査委員会緊急調査の概要	10
(2) 建築震災調査委員会緊急調査の集計結果	11
a) 各選択肢別の調査建築物棟数	11
b) 調査項目別のクロス集計結果	11
① 所在地と震災による処理について	11
② 用途と構造について	11
③ 構造と被災度ランク（構造）について	12
④ 用途と被災度ランク（構造）について	12
⑤ 被災度ランク（構造）と推定建築年について	12
⑥ 構造体被害状況と推定建築年について	12
⑦ 構造と構造体被害状況について	12
⑧ 被災度ランク（構造）とピロティについて	12
⑨ 鉄骨造接合部の被害と推定建築年について	13
⑩ 鉄骨造柱脚の被害と推定建築年について	13
⑪ 被災度ランク別（構造）の神戸市全体の建築物棟数（推定）	



との比較	13
2. 2. 2 応急危険度判定結果のマクロ分析	24
(1) 応急危険度判定データの性格	24
a) 票数	24
b) 単純集計の概要	25
① 鉄筋コンクリート造	31
② 鉄骨構造	31
③ 木造建築物	34
c) 危険度判定結果の判定	35
(2) 分析と仮説	37
(3) 地区別の母数についての把握	42
a) 神戸市	42
b) その他の市のストック状況について	44
(4) 建築年次別の罹災率の検討	44
2. 2. 3 日本建築学会兵庫県南部地震被害調査WGによる	
調査結果のマクロ分析	55
(1) 日本建築学会兵庫県南部地震被害調査WGによる調査の概要	55
(2) 日本建築学会兵庫県南部地震被害調査WGによる調査の集計結果	55
a) 各選択肢別の調査建築物棟数	55
b) 調査項目別のクロス集計結果	55
① 用途と構造について	55
② 地上階数と構造について	55
③ 被災度ランク（構造）と構造について	55
④ 被災度ランク（構造）と用途について	55
2. 2. 4 中央区の特定の地域を対象とした悉皆調査の分析	58
(1) 調査地域の特定	58
(2) 悉皆調査の分析結果	58
a) 調査地域における調査建築物棟数	58
b) 調査項目別のクロス集計結果	60
① 建築年と被害状況との関係	60
② 用途と被害状況との関係	63
2. 2. 5 日本建築学会・日本都市計画学会・兵庫県による被災度調査	66
2. 2. 6 建築業協会調査結果のマクロ分析	67
(1) 建築業協会調査の概要	67
(2) 建築業協会調査の集計結果	67
a) 各選択肢別の調査建築物棟数	67
b) 調査項目別のクロス集計結果	67

① 所在地と震災による処理について	67
② 用途と構造について	68
③ 構造と被災度ランク（構造）について	68
④ 用途と被災度ランク（構造）について	68
⑤ 被災度ランク（構造）と推定建築年について	68
⑥ 構造体被害状況と推定建築年について	68
⑦ 構造と構造体被害状況について	68
⑧ 被災度ランク（構造）とピロティーについて	68
⑨ 鉄骨造接合部の被害と推定建築年について	68
⑩ 鉄骨造柱脚の被害と推定建築年について	68
⑪ 被災度ランク別（構造）の神戸市全体の建築物棟数（推定）との比較	68
2. 2. 7 マクロ分析のまとめ	76
(1) 建築物被害の特性	76
a) 建築年と被害状況との関係	76
b) 用途種別と被害状況の関係	77
(2) 建築物被害と死者について	78
3. 被害状況、被害要因等の分析と提言	79
3. 1 地震及び地震動	79
3. 1. 1 震源の特性	79
3. 1. 2 神戸及び周辺地域の地形・地質・地盤	81
3. 1. 3 被害の分布と地盤条件	83
3. 1. 4 地震記録	85
(1) 気象台での地震記録	85
(2) 激震地域での地震記録	91
(3) 山麓丘陵地域（被害が比較的軽微であった地域）での地震記録	94
(4) 海岸埋立地域での地震記録	96
3. 1. 5 地震記録の分析	99
(1) 応答スペクトルの比較	99
(2) 地震動の方向性（指向性）	99
3. 1. 6 まとめ	102
(1) 地震記録の大きさと地盤と被害との対応	102
(2) 今後の課題	102
3. 2 構造・材料	104
3. 2. 1 RC造及びSRC造建築物	104
(1) 被害の概要	104

a)	被害の特徴	104
b)	被害パターン	104
①	1階の層崩壊または大破	104
②	ピロティー階の崩壊または大破	104
③	中・高層建築物での中間の特定階の崩壊または大破	104
④	SRC造接合部の被害	105
⑤	壁式鉄筋コンクリート構造の被害	105
⑥	その他の被害	109
c)	設計基準等からみた被害とその特徴	115
(2)	被害建築物詳細事例調査	117
a)	目的	117
b)	詳細調査建築物一覧	117
c)	調査事例	120
①	建物概要	120
②	被害概要	121
③	所見	121
(3)	現行基準によった建築物の被害調査	123
a)	目的	123
b)	調査建築物	123
c)	調査事例	125
①	建物概要	125
②	被害概要	125
③	所見	126
ア)	検討した問題点	126
イ)	用いた解析仮定	126
ウ)	考察	127
(4)	被害要因の検討	132
a)	中間階の崩壊	132
①	はじめに	132
②	旧基準で設計された建築物の保有水平耐力の推定	132
③	考察	133
④	まとめ	135
b)	ピロティーを有する鉄筋コンクリート造建築物の被害	136
①	はじめに	136
②	ピロティー建築物の問題点	136
ア)	せん断力係数分布	136
イ)	ピロティーの応力、特に軸力とせん断力	136
ウ)	剛性率、偏心率	136

i)	層崩壊建築物の耐震性	137
k)	復元力負勾配とP- Δ 効果	137
③	まとめ	137
c)	鉄骨鉄筋コンクリート造建築物の被害	138
①	はじめに	138
②	被害例	138
7)	下層部SRC造と上層部RC造からなる混用構造建築物の崩壊	138
i)	格子形SRC造建物の被害	138
k)	非埋め込み形式柱脚の被害	139
e)	SRC柱内の鉄骨継手の破断	139
k)	耐震壁における壁筋の定着破壊	139
k)	非構造壁のせん断破壊	139
③	まとめ	139
d)	材料・施工について	142
①	はじめに	142
②	調査方法	142
③	調査結果と考察	144
7)	コンクリートの圧縮強度およびヤング係数	144
i)	コンクリート中の塩化物イオン量と鉄筋の腐食状況	147
k)	アルカリ骨材反応	147
e)	コンクリートの充てん状況	149
k)	鉄筋末端部の処理	149
④	むすび	149
(5)	まとめ	152
(6)	今後の対策	154
3. 2. 2	鉄骨造建築物	155
(1)	概要	155
(2)	緊急調査対象鉄骨造建築物のマクロ分析	156
(3)	被害調査	161
a)	鉄骨造建築物の被害の類型	161
①	角形鋼管を柱に用いた構造の被害	161
7)	柱脚およびその周辺の被害	161
i)	柱梁接合部仕口の溶接部の破断	161
②	薄肉断面の形鋼を用い錆による経年劣化の大きい建築物の被害	162
③	軸組筋かい構造の建築物の被害	163
④	上階部分の大きな変形	163

⑤ 超高層建築物の被害	163
⑥ 隣接建築物との衝突による被害	163
b) 被害調査のまとめ	164
① 角形鋼管を柱に用いた構造の建築物の被害	164
7) 柱脚およびその周辺の被害	164
1) 柱梁接合部仕口の溶接部の破断	164
② 薄肉断面の形鋼を用い錆による経年劣化の大きい建築物の被害	164
③ 軸組筋かい構造の建築物の被害	164
④ 上階部分の大きな変形	164
⑤ 超高層建築物	164
⑥ 隣接建築物との衝突による被害	164
(4) 特定地域での全数調査	171
(5) 特定建築物の詳細調査	174
(6) 調査結果のまとめ	180
a) 柱脚部及びその近傍の損傷	180
b) 柱梁接合仕口部の損傷	180
c) 筋かい端部、柱継手、梁継手の損傷	180
d) 厚肉大断面部材の脆性的破断	181
e) 現行基準法耐震規定以前の軽量形鋼などを用いた建築物の被害	181
(7) 今後の対策	182
a) 柱脚部およびその近傍の損傷に対する対策	182
b) 柱梁仕口部の損傷に対する対策	182
c) 筋かい端部、柱継手、梁継手の損傷に対する対策	182
d) 厚肉大断面部材の脆性的破断に対する対策	183
e) 現行基準法耐震規定以前の軽量形鋼などを用いた建築物の被害 に対する対策	183
3. 2. 3 基礎・地盤	184
(1) はじめに	184
(2) 建築基礎の被害	184
a) 地盤概要	184
b) 緊急調査による基礎の被害	184
c) 現地調査などによる基礎の被害	185
① 杭基礎の被害	185
② 直接基礎の被害	185
(3) 宅地地盤の被害	186
a) 被害の概要	186
b) 宅地地盤の被害の概要	186

① 自然崖あるいは切土斜面の崩壊	186
② 自然台地上宅地内の亀裂	186
③ 盛土造成地全体の移動(崩壊)	187
④ 個々の宅地地盤の崩壊(擁壁の破壊、亀裂など)	187
(4) まとめ	187
a) 建築基礎	187
b) 宅地地盤	188
(5) 今後の対策	188
a) 建築基礎	188
b) 宅地地盤	188
3. 2. 4 非構造部材	205
(1) はじめに	205
(2) マクロ分析の概要	205
(3) マクロ分析調査結果	205
(4) 非構造部材の被害の概要	207
a) 窓ガラス	207
b) 鋼製玄関ドア	207
c) ALC帳壁	211
d) ラスモルタル・ラスシートモルタル	211
e) タイル張り(コンクリート下地)	211
f) 石張り	211
g) カーテンウォール	214
(5) 非構造部材の被害原因	226
(6) まとめ	226
(7) 今後の対策	226
3. 3 建築防火	228
3. 3. 1 はじめに	228
3. 3. 2 同時多発火災の発生状況	228
(1) 調査した火災の地域的分布	228
(2) 火災の延焼範囲	229
(3) 延焼規模別にみた火災の分布	229
3. 3. 3 延焼規模と市街地構造	231

3. 3. 4	市街地火災の延焼状況	231
(1)	木造家屋・低層の工場等の燃焼・延焼性状	231
(2)	防火木造の燃焼・延焼性状	232
(3)	準(旧簡易)耐火造の燃焼・延焼性状	233
(4)	耐火建築物の燃焼・延焼性状	233
(5)	延焼の速さ	233
(6)	延焼阻止要因	233
3. 3. 5	まとめ	244
3. 3. 6	今後の対策	244
4.	今後の検討課題	245

1. 建築震災調査委員会の活動について

はじめに

平成7年1月17日午前5時46分、淡路島北部を震源とする強い地震、「兵庫県南部地震」が発生した。その被害は、死者・行方不明者5,500名余、負傷者41,500名余、建築物の被害総数約40万棟という戦後最大の規模となっている。この事実をふまえて、地震発生直後に建設省住宅局および建設省建築研究所主導のもと、「兵庫県南部地震による建築物被害に関する調査検討のための委員会」の設置が計画され、1月26日、1月31日の二回の準備会の後、1月31日付で建設省の建築技術審査委員会の特別委員会として「建築震災調査委員会（以下『委員会』）」が正式に発足した。委員会の活動計画は以下の通りである。

- ①緊急被害状況調査の実施
- ②関連調査データの収集
- ③調査結果、関連データ等の分析
- ④被害原因の特定
- ⑤講ずべき施策についての提言

この「中間報告書」は、今日までに調査・分析された途中経過についてとりまとめたものであるが、木造住宅関係については、本委員会の下に「木造住宅等震災調査委員会」が設けられ、当該委員会において別途報告書の作成が行われていることから、被害状況のマクロ分析（第2章）および今後の検討課題（第4章）を除き、本報告書中には木造住宅等の被害調査は含まれていない。

1. 1 委員会構成

以下に委員会の委員を示す。また、「『建築震災調査』の全体体系」を添付する。

（五十音順、敬称略。◎は委員長・○は副委員長を示す。）

氏名	所属	専門分野
○ 岡田 恒男	東京大学生産技術研究所 教授	耐震工学
岡本 伸	(財)日本建築センター建築技術研究所 所長	RC構造

◎ 岸谷 孝一	日本大学理工学部 教授	建築防火
救仁郷 斉	(財)日本建築センター 理事長	技術評価
熊谷 良雄	筑波大学社会工学系 助教授	防災計画
斉田和男	(社)日本建築構造技術者協会 副会長	構造設計
坂本 功	東京大学工学部 教授	木構造
杉山 英男	東京理科大学工学部 教授	木構造
高梨晃一	東京大学生産技術研究 所教授	鉄骨構造
塚越 功	慶応義塾大学 教授	都市計画
武田 寿一	(社)建築業協会建築技術研究部会 部会長	耐震工学
南 忠夫	東京大学地震研究所 教授	地震工学
三村 由夫	建設省建築研究所 所長	建築防火
村田 義男	(社)日本建築構造技術者協会 会長	構造設計
渡部 丹	(社)日本建築学会地震災害委員会 主査	耐震工学

1. 2 委員会の活動

委員会では、これまでに以下の日程で4回の本委員会および1回の現地調査を行った。

平成7年1月31日	委員会を設置
2月 2日	第1回委員会
2月28日	第2回委員会
3月18日	現地調査(神戸市)
3月28日	第3回委員会
7月28日	第4回委員会

活動の概要を以下に記す。

1. 2. 1 緊急調査

地震発生直後、神戸市による第一次応急危険度判定が行われた。対象は鉄筋(鉄骨鉄筋)コンクリート造または鉄骨造の4階建て以上の共同住宅とオフィスビルで、調査員の目視による判断で倒壊の恐れがあり危険とされた建築物に「使用禁止」と印刷された紙が貼付された。

しかしながら、この「使用禁止」建築物と判定された建築物の調査票に当たるものは作成されておらず、また、建築物の位置、名称も1,000棟程度を除いては記録されていない。このため、委員会は、被害の実態と特徴をつかむために、2月3日付で地方公共団体等に協力を要請し、上

記の位置、名称が記録されている建築物（および記録はないが「使用禁止」に相当すると判断される建築物）について、地方公共団体、日本建築学会、鋼材クラブ等の協力を得て緊急調査を行った。調査の概要は以下の通りである。

期間 2月20日から3月3日まで

人員 184名

棟数 1,231棟

対象 第一次応急危険度判定調査で「使用禁止」とされた建築物（同調査の対象ではないが「使用禁止」に相当すると判断される建築物を含む）

調査範囲 神戸市全域及び芦屋市、西宮市の一部

1. 2. 2 外部団体調査結果の集約・分析

被害の全貌をつかむために、関係機関に独自調査の有無のアンケート及び調査結果の提供を依頼した。依頼文書は95団体に送付され、46団体から回答があった。このうち、日本建築学会、日本都市計画学会、建築業協会等の調査結果及び関連する各種データを建設省建築研究所に集約し、マクロ分析に活用した。以下に、アンケートの回収状況を示す。

	発送	回答	
		調査あり	調査なし
中央官庁	4	3	0
特殊法人	2	2	0
社団法人	21	7	11
財団法人	6	2	0
任意団体	5	3	0
都道府県	46	4	11
政令市	11	1	1
その他	0	1	0
合計	95	23	23
		46	

注：「調査あり」は予定、取りまとめ中を含む

1. 2. 3 委員会メンバーによる現地調査

委員会のメンバーおよび建設省からの参加者あわせて16名により、以下の要領で現地調査が行われた。結果は現地調査報告としてまとめられた。

調査日 平成7年3月18日

参加者	委員会	委員長	岸谷 孝一	日本大学工学部 教授
		副委員長	岡田 恒男	東京大学生産技術研究所 教授
		委員	岡本 伸	建設省建築研究所 所長（当時）
			熊谷 良雄	筑波大学社会工学系 助教授
			坂本 功	東京大学工学部 教授
			杉山 英男	東京理科大学工学部 教授
			塚越 功	慶応義塾大学 教授
			武田 寿一	（社）建築業協会建築技術研究部会 部会長
			南 忠夫	東京大学地震研究所 教授
			村田 義男	（社）日本建築構造技術者協会 会長
			渡部 丹	（社）日本建築学会地震災害委員会 主査
	建設省	住宅局	梅野 捷一郎	住宅局長
			羽生 洋治	住宅局建築指導課長（当時）
		建築研究所	山崎 裕	建築研究所企画部長

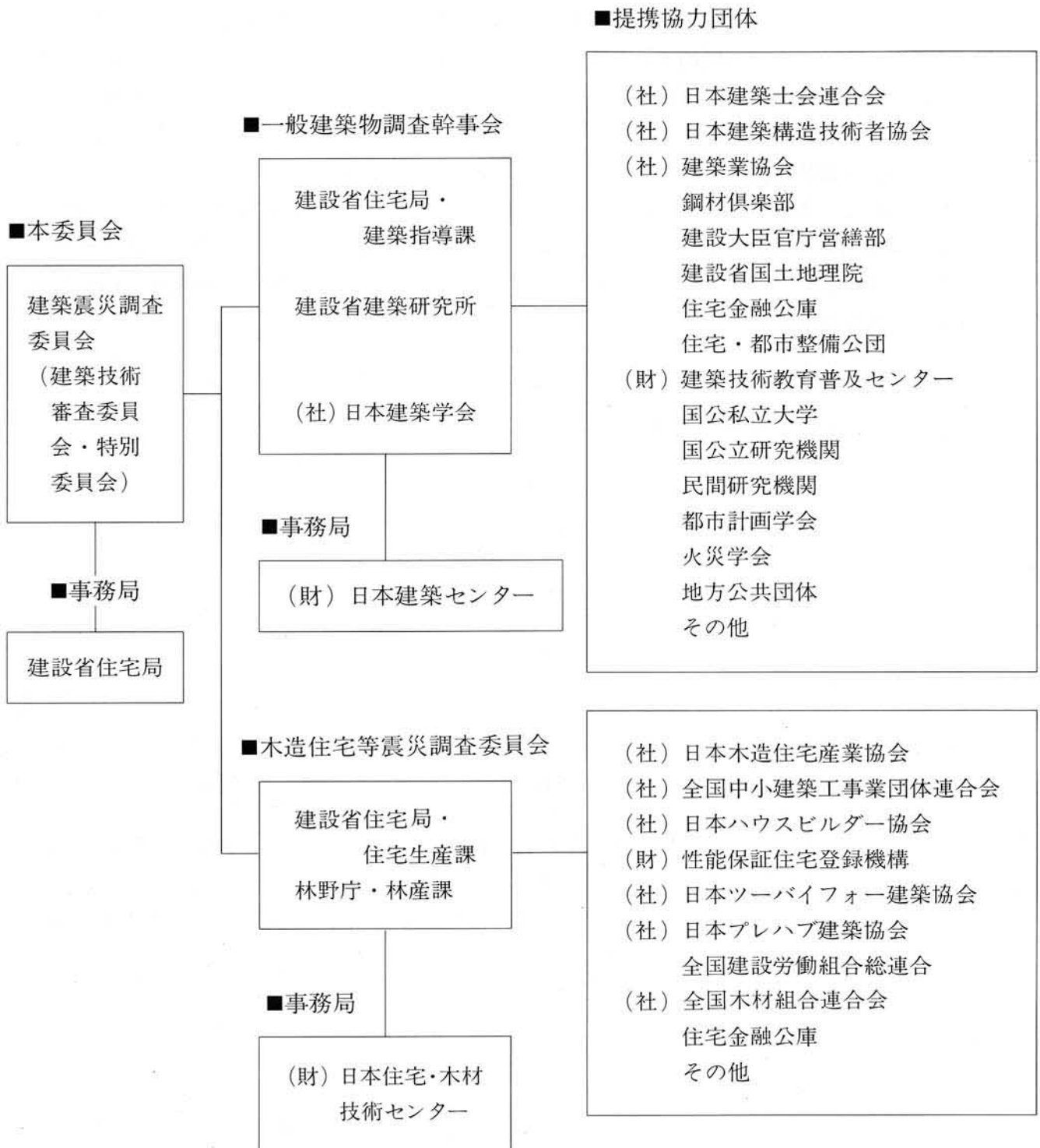
調査範囲 神戸市（長田区、中央区、灘区）

内容 以下の観点を重視して調査を実施した。

- ・「比較的大きな損傷を受けたもの」の損傷原因の把握に努める
- ・「損傷を受けなかったもの」との対比を行い、耐震設計の内容と損傷との関係の把握に努める
- ・新耐震基準施行（昭和56年6月）以降の建物について、鉄筋コンクリート造、鉄骨造及び木造の三構法それぞれに特徴的な被災状況を把握する
- ・中間層破壊を受けた新耐震以前の建物（神戸市旧庁舎）も調査対象に加え、今回の震災に特徴的であった中間層破壊の原因把握に努める
- ・併せて、市街地火災（長田区）の実態調査を行う

(参考)

『建築震災調査』の全体体系



2. 被害状況のマクロ分析

2. 1 地震被害概要及び応急危険度判定について

兵庫県南部地震発生後、被災した建築物による二次災害を防止するために、応急危険度判定が、神戸市、阪神間六市（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4階建て以上の建築物を対象とした『使用禁止』建築物の指定、さらに共同住宅を対象とした応急危険度判定であった。また、これとは別に日本建築学会、日本都市計画学会、建築業協会等において、被災状況等についての調査が行われた。本委員会におけるマクロ分析は、兵庫県等から提供して頂いた行政対応による応急危険度判定作業から得られたデータ及び日本建築学会等の各機関で行われた調査結果から得られたデータを基に行っている。ここでは、まず、地震及び被害の概要並びに応急危険度判定の概要を述べる。

2. 1. 1 地震及び被害の概要

(1) 地震の概要（気象庁発表）

- ・発生年月日 平成7年1月17日5時46分ころ
- ・震源地 淡路島
- ・震源の深さ 14km
- ・規模 マグニチュード7.2

(2) 各地の震度（気象庁発表）

- 震度6 神戸、洲本
- 5 京都、彦根、豊岡
- 4 岐阜、四日市、上野、福井、敦賀、津、和歌山、姫路、舞鶴、大阪、高松、岡山、徳島、津山、多度津、鳥取、福山、高知、境、呉、奈良
- 3以下は略（現地調査によって神戸市等阪神地域及び淡路島の一部で震度7判定）

(3) 被害状況等（消防庁調べ、平成7年5月23日集計）

区分	単位	被害数	区分	単位	被害数
死者	人	5,502	公共建物	棟	549
行方不明者	人	2	その他建物	棟	3,126
負傷者	重傷	1,819	火災	件	294
	軽傷	25,029	道路	箇所	9,403
	調査中	14,679			
	計	41,527			
住被害	全壊	100,282			
	半壊	108,402			
	一部破損	※185,756			
	合計	394,440			

※住家一部破損は、一部地域で調査中であり、現時点で判明している数である。

2. 1. 2 『使用禁止』建築物の判定

『使用禁止』建築物の指定は、1月16日から1月22日の間に応急危険度判定作業の第一段階として、目視により明らかに危険な建築物を判定し『使用禁止』の札を貼り付けることにより行った。『使用禁止』と指定された建築物は2,825棟であった。しかしながらこの『使用禁止』と判定された建築物の調査票に当たるものは作成されておらず、また、建物の位置、名称も1,000棟程度を除いては記録されていない。

2. 1. 3 応急危険度判定

(1) 概要

建築物が地震動を受けた場合、建築物はその保有する耐震性能に応じて軽微な被害に留まったり、また一方では倒壊や崩壊に至ったりする。小さなひびわれが発生した程度で被害が軽微な建築物、または倒壊や崩壊した建築物は、これから起きるであろう余震に対してそれぞれ「安全な建築物」または「危険な建築物」と、簡単にそして誰にでも判断できると考えられる。しかしながら中間的な被害を受けた建築物の場合には、この判断が難しくなる。特に中間的な被害を受けた建築物に、「住み続けてよいのか」、「荷物の運び出し程度であれば入ってもよいのか」、「短期的に入ることも危険なのか」、などの疑問に対する判断には専門的な知識が必要となる。そして、これらの判断は地震後すぐに行なう必要がある。この判断を行なう道具として「応急危険度判定」がある。この応急危険度判定の考え方は、昭和56年から60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り、ロマ・プリエータ地震時など、海外でも利用されてきているが、日本においては、この被災度判定の手法を本格的に適用した経験は昨年未までなく、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留まっていた。

日本で「応急危険度判定」を本格的に適用したのは今回の兵庫県南部地震の被害調査が初めてであり、判定実施体制、判定結果の表示・整理方法等は、実際の判定作業と平行して考えながら行ったのが現状である。しかしながら応急危険度判定マニュアルには書かれていない多くの経験が得られたと考えられる。応急危険度判定を行った各市・町より発表された判定結果を表2.1.3.1に示す。判定した共同住宅は46,610棟で、「危険」が6,476棟、「要注意」が9,302棟、「調査済」が30,832棟となった。表中の「調査済」は「安全」に相当する建築物であるが、今回の判定作業では内部調査を行わずに外観調査のみを行ったので、「安全」ではなく「調査済」とした。

(2) 応急危険度判定要領(例：鉄筋コンクリート造)

(財)日本建築防災協会編「震災建築物等の被災度判定基準および復旧技術指針」は鉄筋コンクリート造、鉄骨造および木造の建築物を対象としており、各構造別に3分冊で構成されている。例として鉄筋コンクリート造建築物の応急危険度判定基準について概要を述べる。

調査は応急危険度判定調査表に従い、建築物の概要、外部および内部について行う。建築物の概要については、建築物名、所在地、構造種別、構造形式、建築物規模等を調査する。建築物の外部調査は、建築物の傾斜・沈下、構造躯体の損傷状況、落下・転倒危険物の損傷状況等について行う。構造躯体については、最も被害の大きい階に着目して調査する。主として鉛直部材、ラーメン構造では柱、壁式構造では壁の損傷度(損傷度Ⅰ～Ⅴ)を調査し、損傷度毎の割合により、構造躯体としての被災度(A～Cランク)を判定する。落下・転倒危険物等についても同様に、それぞれの被災度(A～Cランク)を判定する。この被災度を用いて構造躯体および落下・転倒危険物等の危険度(危険、要注意、安全)を判定し、「危険」の場合は「立入り禁止」、「要注意」の場合は「立入り注意」、「安全」の場合は「立入り可能」の処置を取る。危険度の判定は構造躯体の被災度を優先させ、落下・転倒危険物等に関する被災度は「一部立入り禁止」、「一部立入り注意」等の処置で対応するのが適当であるとしている。

[参考文献]

(財)日本建築防災協会編、「震災建築物等の被災度判定基準および復旧技術指針」
平成3年2月20日

表2.1.3.1 応急危険度判定結果（平成7年2月9日現在）

区 分	危険（赤色）	要注意（黄色）	調査済（緑色）	合 計	
神戸市	4, 3 3 2	3, 7 3 8	9, 2 8 9	1 7, 3 5 9	
阪 神 間	尼崎市	4 7 8	2, 2 0 4	8, 8 2 7	1 1, 5 0 9
	西宮市	1, 0 1 6	9 8 5	4, 2 2 4	6, 2 2 5
	伊丹市	3 2	2 4 1	1, 7 2 6	1, 9 9 9
	宝塚市	1 7 9	3 8 9	1, 4 9 0	2, 0 5 8
	川西市	1 0 1	6 8 8	1, 7 7 6	2, 5 6 5
	芦屋市	1 9 6	1 3 7	7 5 1	1, 0 8 4
	小 計	2, 0 0 2	4, 6 4 4	1 8, 7 9 4	2 5, 4 4 0
明石市	6 7	7 9 3	2, 1 1 7	2, 9 7 7	
淡路地区	7 5	1 2 7	6 3 2	8 3 4	
計	6, 4 7 6	9, 3 0 2	3 0, 8 3 2	4 6, 6 1 0	

2. 2 マクロ調査結果の分析

マクロ調査の対象としたデータは以下のとおりである。

- ・ 建築震災調査委員会緊急調査
- ・ 応急危険度判定結果
- ・ 日本建築学会兵庫県南部地震被害調査WGによる調査
- ・ 中央区悉皆調査
- ・ 日本建築学会・日本都市計画学会・兵庫県による被災度調査
- ・ 建築業協会調査

以下に、個々のマクロ調査結果の検討を述べる。

2. 2. 1 建築震災調査委員会緊急調査結果のマクロ分析

建築震災調査委員会としては、まず、大きな被害を受けたと考えられる『使用禁止』建築物の被災状況等の把握を行うこととしたが、この『使用禁止』と判定された建築物の調査票に当たるものは作成されておらず、また、建築物の位置、名称も1,000棟程度を除いては記録されていなかった。このため、『使用禁止』建築物と特定された建築物および『使用禁止』建築物に相当する建築物の再調査を行い、分析した。再調査は、地方公共団体、日本建築学会、鋼材クラブ等の協力を得て実施された。

この調査は、神戸市全域及び芦屋市、西宮市の一部を対象として行われたが、ここでは全域に渡って調査が行われた神戸市内の建築物を対象とし、各調査項目に該当する建築物棟数及びそのクロス集計を報告する。

(1) 建築震災調査委員会緊急調査の概要

建築震災調査委員会緊急調査は、2月に建築震災調査委員会が建築関係の諸機関に呼びかけ、2月下旬から3月上旬にかけて実施されたものである。調査は、建物概要と被害概要からなり、建物概要に、所在地、震災による処理、推定建築年、用途、ピロティ、構造、鉄筋の種類、構造形式（2方向）、地上階数、塔屋階数、地下階数が含まれ、被害概要に、被災度ランク、火災の規模、構造体被害状況、建築物の傾斜、鉄筋の圧接接合の被害、コンクリートのアルカリ骨材反応、S造接合部の被害、S造柱脚の被害、基礎被害、地盤被害、ALC帳壁縦壁挿入筋工法、窓ガラス破損状況、窓ガラス破損、PCカーテンウォール、ラスシートモルタル又はラスモルタル、RC下地タイルが含まれている。調査項目とその回答要領を表2.2.1.1～2に示す。

(2) 建築震災調査委員会緊急調査の集計結果

a) 各選択肢別の調査建築物棟数

神戸市内の調査建築物棟数は、総計で1,231棟であり、各選択肢に該当する棟数を以下に示す。

所在地別では、神戸市内の8区のうち、東灘区から須磨区までの6区から多く集計され、特に、中央区は386棟と最も多かった。震災による処理別では、約80%の970棟が現状維持であり、本調査が地震発生後1カ月以上経過して実施されたが、地震直後とほぼ同じ状態を調査することができたといえる。推定建築年別では、全体の約70%の856棟を推定することができ、昭和46年以前が535棟と最も多く、次いで昭和47～56年の218棟、昭和57年以降の103棟である。用途別では、複合用途が最も多く451棟、以下(共同)住宅の265棟等である。構造別では、現場打ちRC造が最も多く516棟、以下S造が316棟、ほとんどが木造のその他162棟等である。構造形式では、2方向ともラーメン式が約80%を占めている。地上階数は、4階が最も多く355棟であり、次いで5階が196棟、2階が161棟、3階が131棟となり、用途、地上階数ともに、調査対象以外の建築物にも及んでいる。被災度ランク別では、倒壊又は崩壊が339棟、大破が389棟であり、この2つのランクで全体の約60%を占めており、被害の著しい建築物中心に調査されたことがわかる。また、全焼は28棟、部分焼は15棟であった。構造体被害状況別では、層崩壊が340棟、一部の柱の座屈が166棟等であり、この2種類の被害状況が全体の約40%を占めている。

なお、推定建築年を昭和46年以前、昭和47～56年、昭和57年以降に分類したのは、昭和46年にRC造、S造建築物、昭和56年にRC造、SRC造、S造建築物の建築基準法施行令等の構造強度に関する規定が大幅に改正され、各建築物に適用された基準が異なるためである。また、建築年を推定するときには、定礎、記念碑等によるほか、固定資産税関係及び建築確認関係の資料を用いた。推定方法別の内訳は、定礎、記念碑等によるもの約400棟、固定資産税関係の資料によるもの約460棟、建築確認関係の資料によるもの約20棟である。

b) 調査項目別のクロス集計結果

神戸市内の調査建築物について、調査項目のうち適当なもの2つを選んでクロス集計を行った。以下にその結果を表2.2.1.3～10に示し、縦軸を棟数とした3次元棒グラフを各表の下又は右に添付している。また、推定建築年及び被災度ランクについてのクロス集計では、各選択肢ごとの総数に対する割合を縦軸にした棒グラフを3次元棒グラフの右に添付した。

① 所在地と震災による処理について(表2.2.1.3)

各区で、80%程度が現状維持、10%程度が除却済又は除却工事中、5%程度が補強工事中であった。震災後、半月から1月経過し、徐々に除却工事や補強工事が進められたことがわかる。

② 用途と構造について(表2.2.1.4)

「使用禁止」と判定された建築物を再調査した結果、中破及び小破以下の建築物が含まれていた。本調査では、原則として、4階建て以上の建築物を対象としていたため、RC造及びS造の建築物が多い。また、RC造とSRC造の建築物を目視により分類することは難しいため、

R C造にS R C造が含まれている可能性がある。

表2.2.1.4では、木造等で住宅が最も多く、それ以外の構造で、複合用途が最も多かった。緊急調査は、共同住宅を中心に行われたが、共同住宅にその他の用途を複合した建築物が多かったと言える。

③ 構造と被災度ランク（構造）について（表2.2.1.5）

各構造で、大破以上の被害を受けた建築物が半数以上を占めており、R C造で70%、S R C造で60%、S造で55程度である。本調査が、各構造で被害の著しい建築物中心に行われたことがわかる。

④ 用途と被災度ランク（構造）について（表2.2.1.6）

各用途においても、構造と同様に大破以上の被害を受けた建築物が半数以上を占めている。

⑤ 被災度ランク（構造）と推定建築年について（表2.2.1.7、表2.2.1.8）

推定建築年別には、昭和46年以前で535棟、昭和47～56年で218棟、昭和57年以降で103棟であり、建築物棟数は各々の段階で約半分に減少するが、「倒壊又は崩壊」と「大破」においては、それぞれ昭和46年以前で183棟、174棟、昭和47～56年で62棟、71棟、昭和57年以降で15棟、25棟となり、大きな被害を受けた建築物棟数は各推定建築年別で1/3～1/4に減少している。

緊急調査対象建築物の中で「倒壊又は崩壊」、「大破」の占める割合は、それぞれ昭和46年以前で34%、33%、昭和47～56年で28%、33%、昭和57年以降で15%、24%となる。この値は、緊急調査の母数が「使用禁止」とされた建築物であることから、いわゆる倒壊率等とは異なるものではあるが、建築年が新しいほど、大きな被害を受けた建築物の割合が減っていることは明らかである。

表2.2.1.8は、昭和57年以降に建築され、大破以上の被害を受けた建築物の一覧である。ただし、木造1棟を除いた。大破以上の被害を受けたとされた新耐震以後の建築物については、建築研究所のR C、Sグループが再度調査に行き、竣工年、構造形式、構造的な被害状況を確認した。その結果、倒壊、崩壊を含む大破以上の被害を受けた新耐震以後の建築物は39棟となった。これらの建築物は、構造、地上階数にかかわらず被害を受けているが、R C造、S R C造において、ピロティ形式（下層階の剛性や耐力が上層階より小さい）の倒壊や大破が多い。また大破以上のS R C造建築物では、1階柱脚部の主筋座屈・破断およびずれが生じている。

⑥ 構造体被害状況と推定建築年について（表2.2.1.9）

構造体被害状況のうち1階層崩壊と中間階崩壊については、被災度ランク（構造）と推定建築年の場合と同様に、建築年が新しいほど、被害を受けた建築物の割合が減っているが、一部柱座屈、またはその他（柱、耐力壁のせん断ひび割れ、ブレース破断等）の比較的軽微な被害を受けた建築物の割合は、それぞれ、同程度または増加している。

⑦ 構造と構造体被害状況について（表2.2.1.10）

R C造では、層崩壊及び一部柱座屈の被害が多いが、S造では、その他の被害（ブレース破断、溶接部破断、柱脚破損）が多い。

⑧ 被災度ランク（構造）とピロティについて（表2.2.1.11(1)～(3)）

R C造の倒壊又は崩壊した建築物において、昭和46年以前の建築物ではピロティのあるものが33棟、ないものが79棟である。一方、昭和47～56年の建築物ではそれぞれ33棟、12棟であ

り、昭和57年以降の建築物では、4棟、1棟である。すなわち、昭和47年以降になるとピロティーのない建築物の被害が減少しており、特に大破以上の建築物では、ピロティー形式の建築物の被害が約半分を占めている。

⑨ 鉄骨造接合部の被害と推定建築年について（表2.2.1.12）

S造、RC・S造、SRC・S造の建築物は、推定建築年別には、昭和46年以前では113棟、昭和47～56年では54棟、昭和57年以降では47棟であるが、溶接部が破断した建築物は、昭和46年以前では17棟、昭和47～56年では4棟、昭和57年以降では11棟となっており、溶接破断と建築年との相関は見られなかった。

⑩ 鉄骨造柱脚の被害と推定建築年について（表2.2.1.13）

S造、RC・S造、SRC・S造の建築物の柱脚の被害は、推定建築年別の総数と同程度に減少しているが、推定建築年にかかわらず、総数のうちの約20%で被害が見られた。

⑪ 被災度ランク別（構造）の神戸市全体の建築物棟数（推定）との比較（表2.2.1.14(1)～(3)）

今回の震災による被災区域は必ずしも神戸市の全体にわたっているわけではないが、被災区域の建築物を推計することは困難なので、ここでは神戸市内の建築物の棟数を建築年別に推定したものと、被災度ランク（構造）と推定建築年のクロス集計を表2.2.1.14(1)（全体）、表2.2.1.14(2)（非木造）、表2.2.1.14(3)（木造等）

に示す。また、被災度ランク（構造）ごとに推定建築年別棟数の占める割合を棒グラフにして、表の右に示す。ただし、不明なものを除いた。

ここで、神戸市内の建築物の総棟数（ストック）については、その統計的なデータが存在しないものの、建築統計年報等を参考に、昭和56年以前に建築された非木造建築物を79,000棟、昭和57年以降に建築された非木造建築物を40,000棟、昭和56年以前に建築された木造建築物を224,000棟、昭和57年以降に建築された木造建築物を52,000棟とした。

非木造の推定建築年別割合（表2.2.1.14(2)）のうち、昭和57年以降に建築され中破以下の被害を受けた建築物の割合は神戸市全体とほぼ同じ割合であるが、昭和57年以降に建築され「倒壊又は崩壊」と「大破」の被害を受けた建築物の割合は、神戸市全体の約半分となっている。このことから、昭和57年以降に建築された建築物は、大破以上の被害を受けにくかったといえる。

表2.2.1.1 調査項目と選択肢一覧

	調 査 項 目	選 択 肢
建 物 概 要	(1) 所在地	神戸市 区 町
	(2) 震災による処理	除却済、除却工事中、補強工事中、現状維持
	(3) 推定建築年	昭和46年以前、昭和47～56年、 昭和57年（新耐震基準施行）以降、不明
	(4) 用途	ホテル、事務所、（共同）住宅、店舗、工場、倉庫、 その他（ ）
	(5) ピロティ	あり、なし
	(6) 構造	現場打ちRC造、プレキャストRC造、SRC造、 S造、その他（ ）
	(7) 鉄筋の種類	主筋：異形鉄筋、丸鋼、不明 帯筋：異形鉄筋、丸鋼、不明、間隔： cm
	(8) 構造形式（南北方向）	ラーメン式、壁式、コア式、筋かい式、 その他（ ）
	(9) 構造形式（東西方向）	ラーメン式、壁式、コア式、筋かい式、 その他（ ）
	(10) 地上階数	階
	(11) 塔屋階数	階
	(12) 地下階数	階、不明
被 害 概 要	(13) 被災度ランク	倒壊又は崩壊、大破、中破、小破以下、 全焼、部分焼
	(14) 火災の規模	単独火災、延焼火災、火災なし
	(15) 構造体被害状況	1階崩壊、中間階崩壊、一部の柱が座屈、その他（ ）
	(16) 建築物の傾斜	目視で2度(1/30)以上を確認できる、目視で2度(1/30) 未満を確認できる、目視で確認できない
	(17) 鉄筋の圧接接合の被害	破断あり、破断なし、該当接合なし、不明
	(18) コンクリートのアルカリ骨材反応	あり、なし、不明
	(19) S造接合部の被害	溶接破断、高力ボルト破断、破断なし、不明
	(20) S造柱脚の被害	基礎コンクリートの破壊、アンカーボルトの破断又は引 抜き、被害なし、不明
	(21) 基礎被害	沈下あり、沈下なし、その他（ ）
	(22) 地盤被害	地盤沈下あり、地盤沈下なし、 液状化あり、液状化なし、その他（ ）
	(23) ALC帳壁縦壁挿入筋工法	1/3以上脱落、1/3未満脱落、パネルの欠けのみ、 ひび割れのみ、無被害、該当工法なし、不明
	(24) 窓ガラス破損状況	50%以上破損、各階に破損、一部破損、 無被害、該当ガラスなし
	(25) 窓ガラス破損	震動による、火災による、不明
	(26) PCカーテンウォール	脱落（ 枚／ 枚中）、脱落しかけ、要補修、 無被害、該当工法なし、不明
	(27) ラスシートモルタル又は ラスモルタル	50%以上脱落、一部脱落、ひび割れのみ、無被害、 該当工法なし、不明
	(28) RC下地タイル	50%以上脱落、一部脱落、ひび割れのみ、無被害、 該当工法なし、不明

表2.2.1.2 調査項目の回答要領

(1) 所在地 地図を参照して記入して下さい。		
(2) 震災による処理 調査時の建築物の状態に該当するものを1～4の中から1つ選んで下さい。		
(3) 推定建築年 定礎、記念碑等により確認した場合に記入して下さい。また、建築年についてのヒアリングが可能になり、およその建築年を確認した場合にも記入して下さい。なお、建築物がRC造又はSRC造の場合には、柱の帯筋の間隔が、10cmを超え30cm以内ならば選択肢1、10cm以内ならば選択肢2又は3となります。		
(13)被災度ランク 建築物の中の最も被害の大きい層の被災度に応じて、1～4のうちの1つを選んで下さい。また、火災が発生した場合には、併せて5又は6を選んでください。		
(13-1)構造の被災度ランク		
	R C 造 又 は S R C 造	S 造
倒壊又は崩壊	建築物の全体又は一部が、倒壊又は崩壊した場合	同左
大 破	①柱のせん断ひび割れ又は曲げひび割れによる鉄筋の露出及び座屈、 ②耐力壁に大きなせん断ひび割れ、 が生じて耐力に著しい低下が認められる場合	①層に1/30以上の傾斜、 ②主要な構造部材に大きな局部座屈や全体座屈などの著しい損傷（筋かいの50%以上が破断した場合を含む） ③塔屋等屋上突出物の倒壊又は崩壊、 が見られる場合
中 破	①柱に典型的なせん断ひび割れ又は曲げひび割れ、 ②耐力壁にせん断ひび割れ、 ③2次壁又は非構造体に大きな損傷、 ④エキスパンションジョイント、渡り廊下、塔屋等建築物の付属部分に局部的な構造体の破壊、 が見られる場合	大破及び小破以下に該当しない場合 例えば、 ①主要な構造部材に局部座屈などの損傷（筋かいの20%以上50%未満が破断した場合を含む）が生じている ②外壁ALC板の1/3以上が落下し若しくは落下しそうになっている、 場合等

小破以下	①柱及び耐力壁の軽微な損傷、 ②2次壁又は階段室のまわりにせん断ひび割れ、 が見られる場合	①筋かいを除く部材、接合部及び基礎が変形しておらず、かつ、筋かいの破断率が20%未満の場合、 ②外壁ラスモルタルの全面又は一部が落下しても主要な構造部材に損傷がない場合
注) 大破、中破又は小破以下については、上記①、②等のいずれか1つに該当する場合に選んで下さい。		

(13-2)火災の被災度ランク

- 全 焼：火災が発生した床面積が延べ面積の70%以上の場合
- 部分 焼：火災が発生した床面積が延べ面積の70%未満の場合

(14)火災の規模

- 単独火災：当該建築物のみに火災が発生した場合
- 延焼火災：隣接する建築物にも火災が発生した場合

(15)構造体被害状況

特徴的な被害状況をその他の欄に記入してください。

(17)鉄筋の圧接接合の被害

鉄筋の継手部を確認できる場合に、その被害を記入して下さい。

(18)コンクリートのアルカリ骨材反応

柱又は梁の軸方向に卓越したひび割れが見られ、壁に亀甲状のひび割れが見られ、又は割れている骨材の断面の周囲に黒い縁が見られる場合に選択肢1を選んで下さい。

(19)S造接合部の被害

S造の柱梁接合部(仕口部)、柱-柱継手部又は梁-梁継手部を確認できる場合にその被害を記入して下さい。

(21)基礎被害

基礎コンクリートの破壊等が見られれば、その他の欄に記入してください。

(22)地盤被害

地割れ等が見られれば、その他の欄に記入してください。

建築震災調査委員会緊急調査
(調査地域：神戸市内、実施期間：H7-2~3)

表2.2.1.3 所在地と震災による処理のクロス集計

(単位：棟)

震災による処理	所在地						総計
	須磨区	長田区	兵庫区	中央区	灘区	東灘区	
除却済	15	20	20	20	2	3	80
除却工事中	8	6	15	35	10	19	93
補強工事中	2	7	8	20	10	10	57
現状維持	145	163	113	290	119	140	970
不明	3	3	2	21	0	2	31
総計	173	199	158	386	141	174	1231

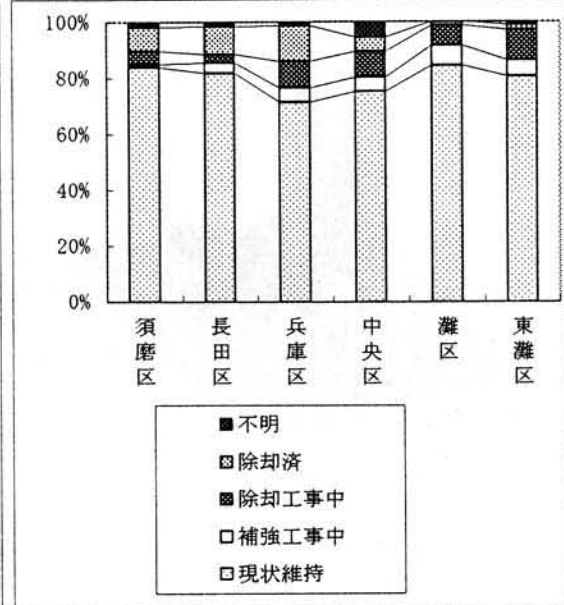
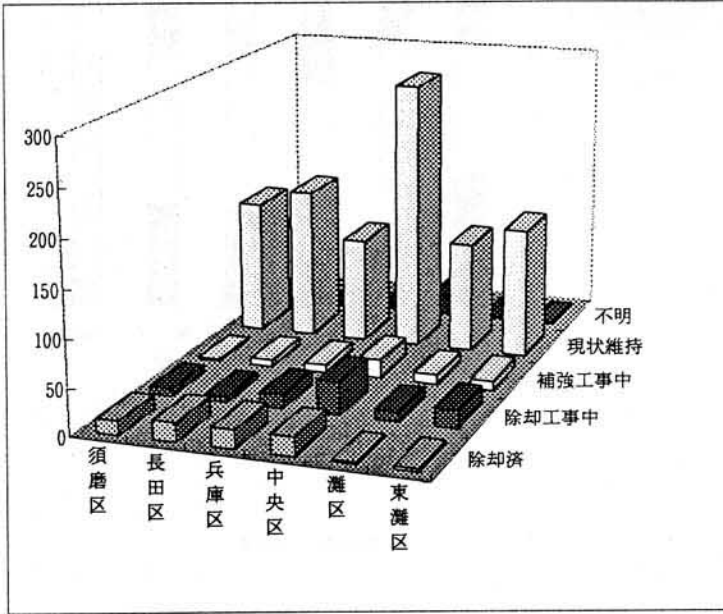
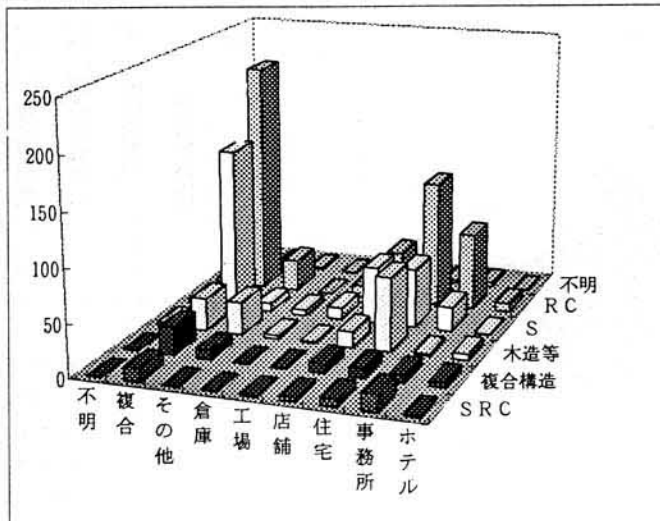


表2.2.1.4 用途と構造のクロス集計

(単位：棟)

構造	用途									不明	総計
	ホテル	事務所	住宅	店舗	工場	倉庫	その他	複合			
RC	8	73	120	48	11	0	30	222	4	516	
SRC	1	16	7	4	1	0	0	13	0	42	
S	1	23	56	54	11	5	8	155	3	316	
木造等	6	2	70	15	1	3	31	31	3	162	
複合構造	5	7	9	9	1	0	9	26	0	66	
不明	0	4	3	7	0	0	2	4	109	129	
総計	21	125	265	137	25	8	80	451	119	1231	



建築震災調査委員会緊急調査
(調査地域：神戸市内、実施期間：H7-2~3)

表2.2.1.5 構造と被災度ランク（構造）のクロス集計
(単位：棟)

被災度ランク (構造)	構造							総計
	RC	SRC	S	木造等	複合構 造	不明		
倒壊又は崩壊	214	10	43	49	21	2	339	
大破	153	17	131	65	21	2	389	
中破	60	9	49	11	10	4	143	
小破以下	71	6	86	16	13	3	195	
不明	18	0	7	21	1	118	165	
総計	516	42	316	162	66	129	1231	

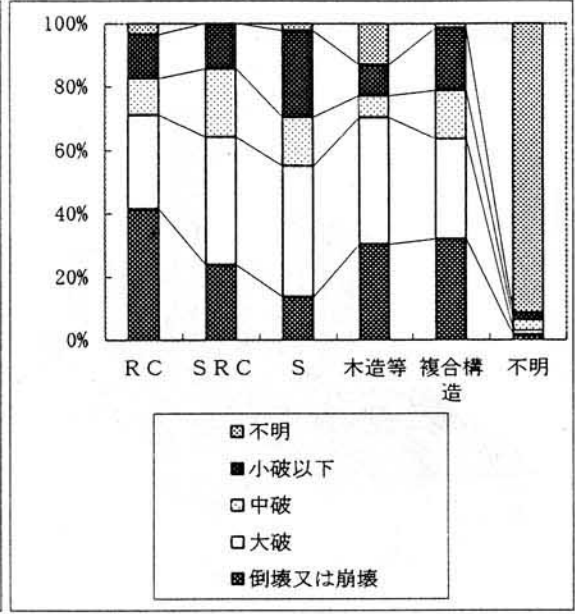
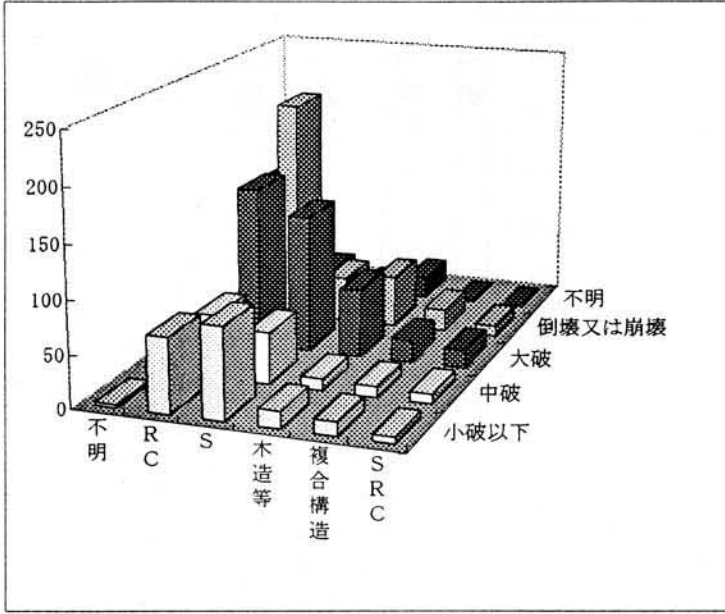
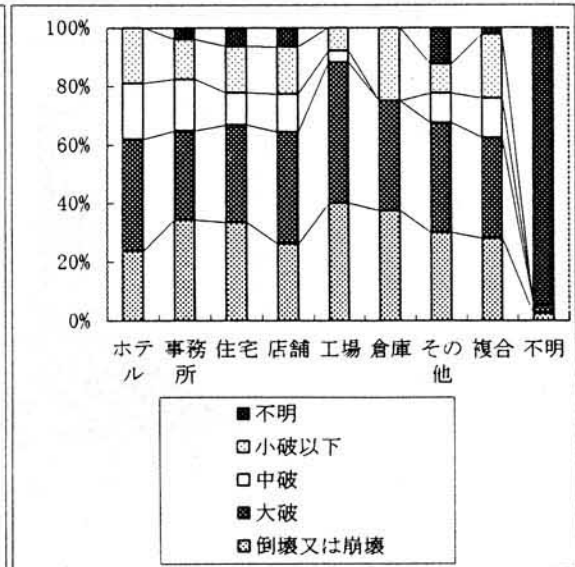
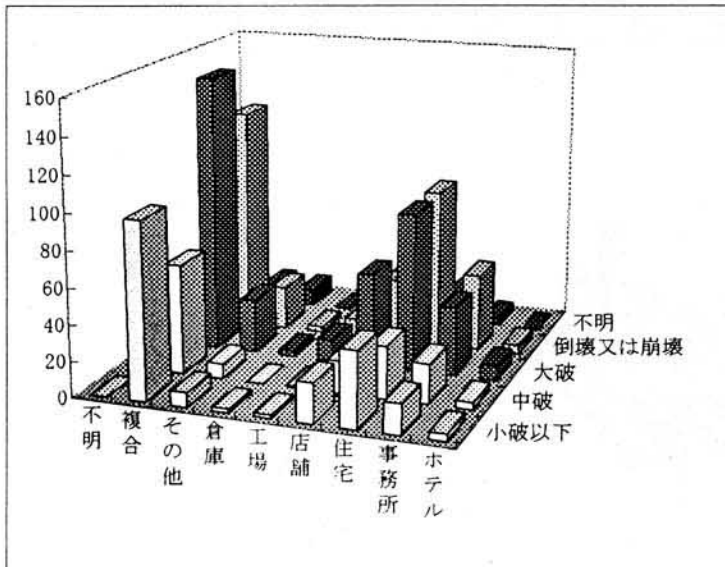


表2.2.1.6 用途と被災度ランク（構造）のクロス集計
(単位：棟)

被災度ランク (構造)	用途										総計
	ホテル	事務所	住宅	店舗	工場	倉庫	その他	複合	不明		
倒壊又は崩壊	5	43	89	36	10	3	24	126	3	339	
大破	8	38	88	52	12	3	30	155	3	389	
中破	4	22	29	18	1	0	8	61	0	143	
小破以下	4	17	42	22	2	2	8	98	0	195	
不明	0	5	17	9	0	0	10	11	113	165	
総計	21	125	265	137	25	8	80	451	119	1231	



建築震災調査委員会緊急調査
(調査地域：神戸市内、実施期間：H7-2~3)

表2.2.1.7 被災度ランク（構造）と推定建築年のクロス集計
(単位：棟)

推定建築年	被災度ランク（構造）					総計
	倒壊又は崩壊	大破	中破	小破以下	不明	
昭和46年以前	183	174	42	63	73	535
昭和47～56年	62	71	37	42	6	218
昭和57年以降	15	25	29	29	5	103
不明	79	119	35	61	81	375
総計	339	389	143	195	165	1231

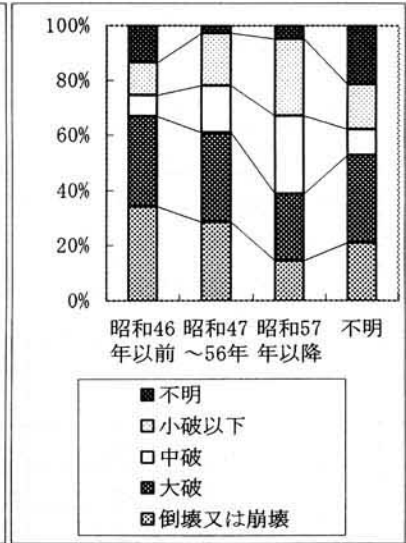
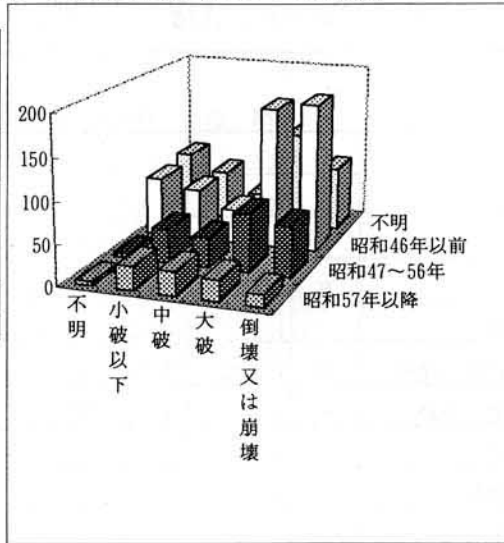


表2.2.1.9 構造体被害状況と推定建築年のクロス集計
(単位：棟)

推定建築年	構造体被害状況					不明	総計
	1階層崩壊	中間階崩壊	一部柱座屈	その他	組み合わせ		
昭和46年以前	148	22	74	150	28	113	535
昭和47～56年	55	6	34	86	10	27	218
昭和57年以降	13	2	15	49	5	19	103
不明	55	20	43	130	9	118	375
総計	271	50	166	415	52	277	1231

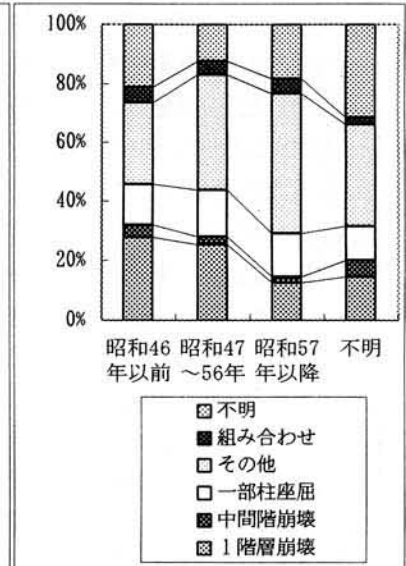
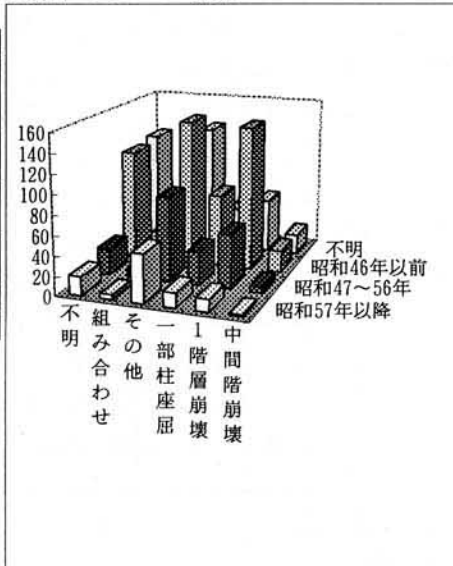
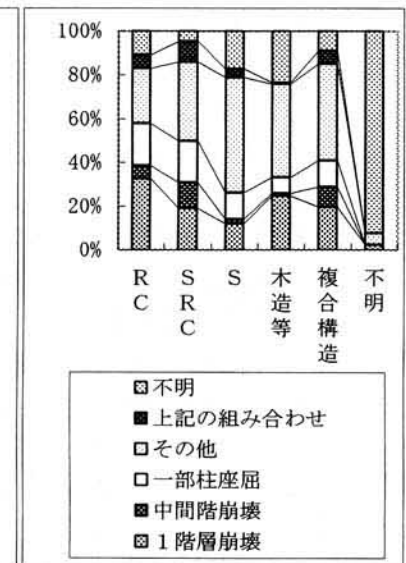
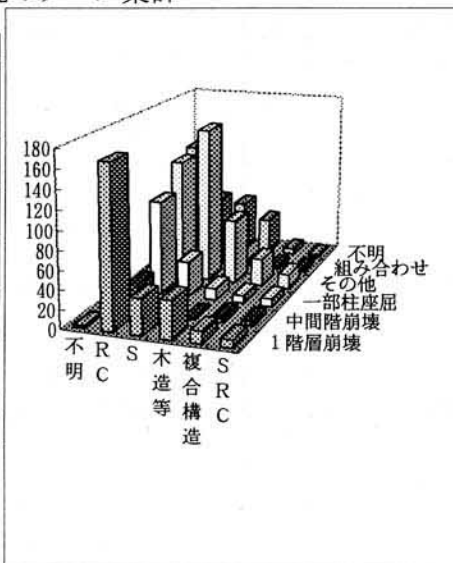


表2.2.1.10 構造と構造体被害状況のクロス集計
(単位：棟)

構造体被害状況	構造					不明	総計
	R C	S R C	S	木造等	複合構造		
1階層崩壊	169	8	38	40	13	3	271
中間階崩壊	30	5	7	2	6	0	50
一部柱座屈	100	8	38	12	8	0	166
その他	129	15	166	69	29	7	415
組み合わせ	31	4	12	1	4	0	52
不明	57	2	55	38	6	119	277
総計	516	42	316	162	66	129	1231



建築震災調査委員会緊急調査
(調査地域：神戸市内、実施期間：H7-2～3)

表2.2.1.8 昭和57年以降に建築され、大破以上の被害を受けた建築物一覧

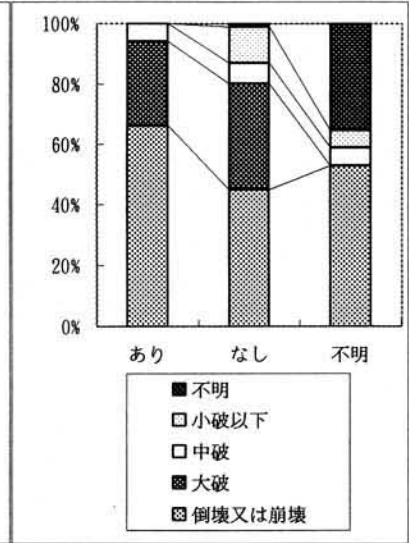
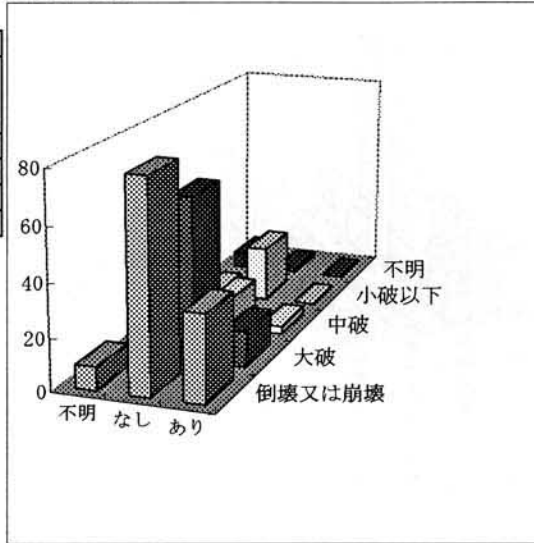
番号	所在地	用途	ピロ ティ ー	構造	構造形式	地上 階数	被災度ランク (構造)	構造体被害状況
1	神戸市東灘区田中町	店舗		RC	ラーメン式	4	大破	その他
2	神戸市東灘区田中町	店舗		RC	ラーメン式	5	大破	1階崩壊
3	神戸市東灘区御影町石屋	住宅	有	RC	ラーメン式	5	倒壊・崩壊	1階崩壊
4	神戸市東灘区本山中町	住宅	有	RC	ラーメン式	6	大破	1階崩壊
5	神戸市中央区北長狭通	店舗		RC	ラーメン式	6	倒壊・崩壊	
6	神戸市灘区大石南	事務所・住宅	有	RC	ラーメン式	6	大破	一部柱座屈
7	神戸市兵庫区中道通	住宅・店舗	有	RC	ラーメン式	7	大破	一部柱座屈
8	神戸市灘区新在家南	住宅	有	RC	ラーメン式	7	倒壊・崩壊	一部柱座屈
9	神戸市中央区筒井町	事務所		RC	ラーメン式	7	大破	一部柱座屈
10	神戸市東灘区本山南町	住宅	有	RC	ラーメン式	8	倒壊・崩壊	その他
11	神戸市中央区中山手通	店舗		SRC	ラーメン式	9	大破	その他
12	神戸市中央区江戸町	事務所		SRC	ラーメン式	9	大破	1階崩壊
13	神戸市中央区若菜通	住宅・その他	有	RC	ラーメン式	10	倒壊・崩壊	1階崩壊
14	神戸市兵庫区駅前通	住宅	有	RC	ラーメン式	10	大破	一部柱座屈
15	神戸市長田区日吉町	店舗		S	ラーメン式	2	大破	
16	神戸市東灘区御影石町	住宅	有	S	ラーメン式	3	大破	1階崩壊
17	神戸市東灘区本庄町	事務所・店舗		S	筋かい式	4	倒壊・崩壊	その他
18	神戸市東灘区御影中町	事務所		S	ラーメン式	4	大破	1階崩壊
19	神戸市兵庫区下沢通	事務所・住宅		S	ラーメン式	4	倒壊・崩壊	1階崩壊
20	神戸市兵庫区上沢通	住宅・店舗		S	ラーメン式	4	倒壊・崩壊	1階崩壊
21	神戸市兵庫区下沢通	住宅・その他		S	ラーメン式	4	倒壊・崩壊	1階崩壊
22	神戸市兵庫区新開地	ホテル	有	S	ラーメン式	4	倒壊・崩壊	1階崩壊
23	神戸市長田区神楽町	事務所・工場		S	ラーメン式	4	大破	その他
24	神戸市長田区西代通	事務所・住宅		S	不明	4	大破	その他
25	神戸市長田区細田町	事務所・住宅		S	ラーメン式	4	大破	その他
26	神戸市須磨区大田	住宅・店舗		S	ラーメン式	4	大破	その他
27	神戸市灘区大石南	事務所	有	S	ラーメン式	4	大破	一部柱座屈
28	神戸市長田区若松町	店舗		S	ラーメン式	4	大破	1階崩壊
29	神戸市灘区大石東	住宅	有	S	ラーメン式	4	倒壊・崩壊	1階崩壊
30	神戸市東灘区住吉宮町	事務所		S	ラーメン式	5	大破	その他
31	神戸市中央区中山手通	事務所・店舗		S	ラーメン式	5	大破	その他
32	神戸市兵庫区下沢通	住宅・店舗		S	ラーメン式	5	大破	その他
33	神戸市須磨区寺田	住宅	不明	S	ラーメン式	5	倒壊・崩壊	1階崩壊
34	神戸市中央区割塚通	住宅		S	ラーメン式	5	大破	一部柱座屈
35	神戸市中央区北長狭通	店舗		S	ラーメン式	6	大破	
36	神戸市中央区加納町	店舗		S	ラーメン式	7	倒壊・崩壊	1階崩壊
37	神戸市中央区北長狭通	店舗		S	ラーメン式	8	大破	
38	神戸市中央区琴ノ緒町	その他		S	ラーメン式	8	倒壊・崩壊	その他
39	神戸市中央区北長狭通	事務所・店舗		S	ラーメン式	10	倒壊・崩壊	中間階崩壊

建築震災調査委員会緊急調査
(調査地域：神戸市内、実施期間：H7-2~3)

表2.2.1.11 被災度ランク（構造）とピロティークロス集計
(1) 昭和46年以前に建築されたRC造

(単位：棟)

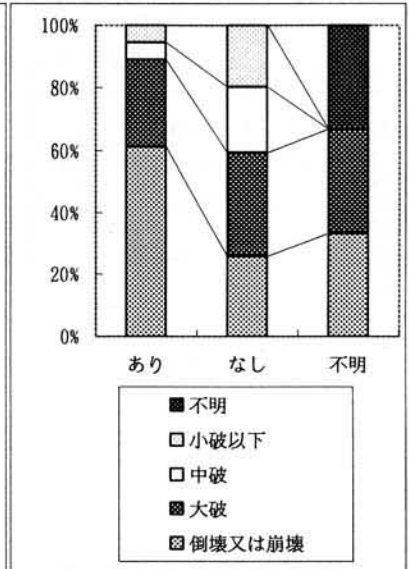
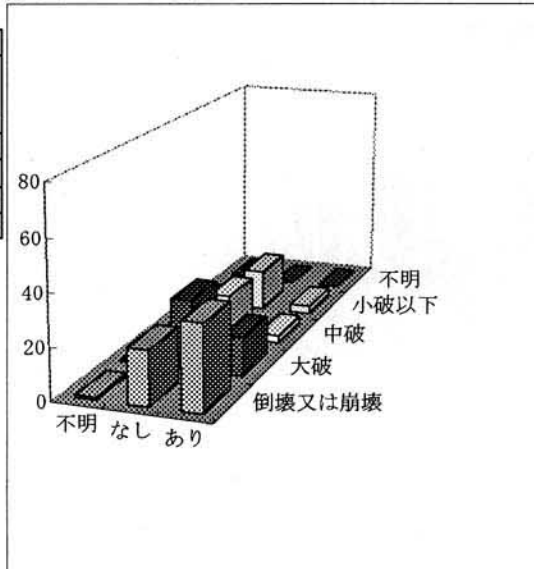
		被災度ランク（構造）					
ピロティークロス	倒壊又は崩壊	大破	中破	小破以下	不明	総計	
あり	33	14	3	0	0	50	
なし	79	62	12	21	2	176	
不明	9	0	1	1	6	17	
総計	121	76	16	22	8	243	



(2) 昭和47~56年以前に建築されたRC造

(単位：棟)

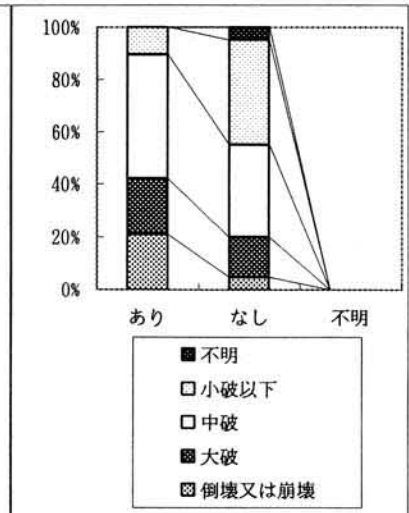
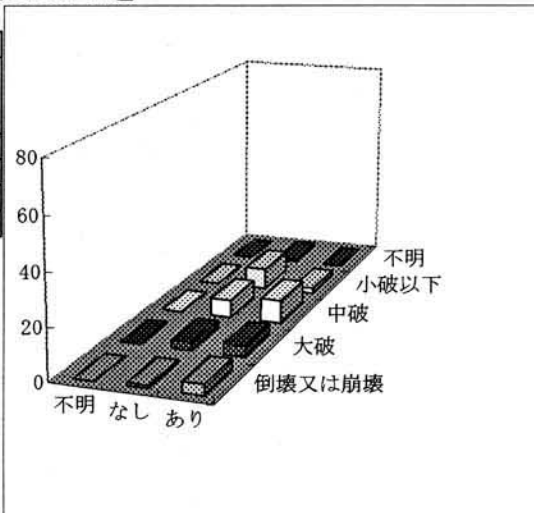
		被災度ランク（構造）					
ピロティークロス	倒壊又は崩壊	大破	中破	小破以下	不明	総計	
あり	33	15	3	3	0	54	
なし	21	27	17	16	0	81	
不明	1	1	0	0	1	3	
総計	55	43	20	19	1	138	



(3) 昭和57年以降に建築されたRC造

(単位：棟)

		被災度ランク（構造）					
ピロティークロス	倒壊又は崩壊	大破	中破	小破以下	不明	総計	
あり	4	4	9	2	0	19	
なし	1	3	7	8	1	20	
不明	0	0	0	0	0	0	
総計	5	7	16	10	1	39	



建築震災調査委員会緊急調査
(調査地域：神戸市内、実施期間：H7-2~3)

表2.2.1.12 鉄骨造接合部の被害と推定建築年のクロス集計
(S造、RCとS、SRCとSの複合構造)

(単位：棟)

推定建築年	S造接合部の被害				不明	総計
	溶接破断	高力ボルト破断	破断なし			
昭和46年以前	17	7	32	57	113	
昭和47~56年	4	1	21	28	54	
昭和57年以降	11	1	10	25	47	
不明	20	2	34	80	136	
総計	52	11	97	190	350	

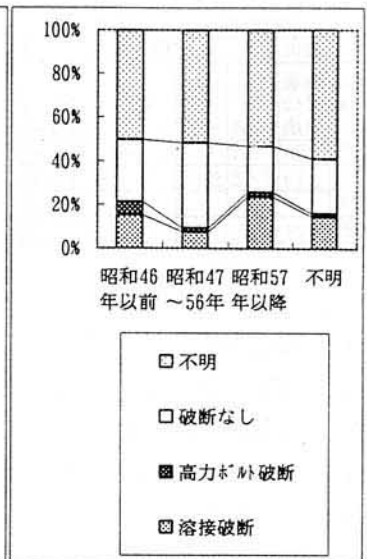
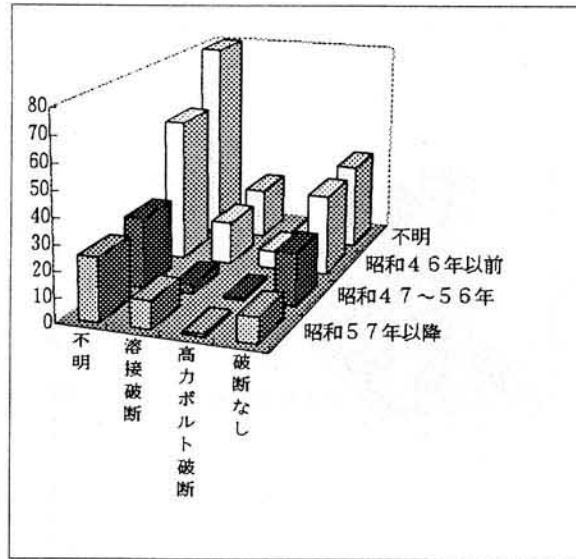
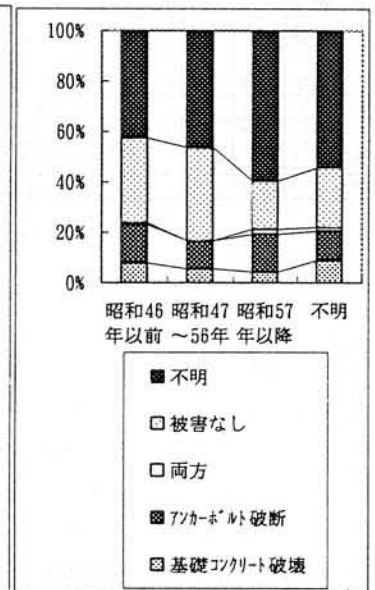
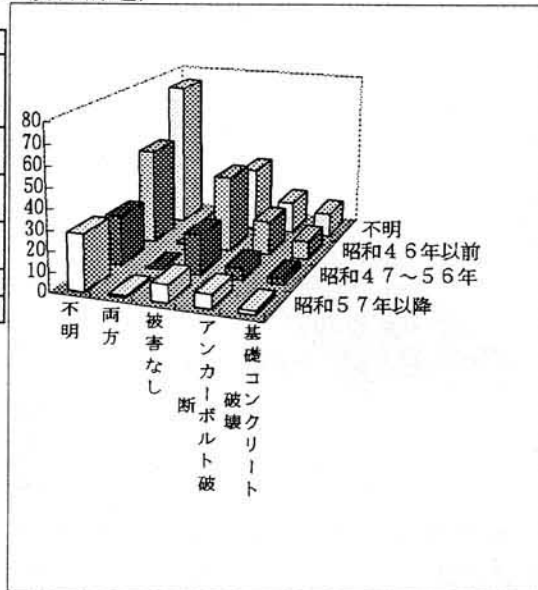


表2.2.1.13 鉄骨造柱脚の被害と推定建築年のクロス集計
(S造、RCとS、SRCとSの複合構造)

(単位：棟)

推定建築年	S造柱脚の被害				被害なし	不明	総計
	基礎コンクリート破壊	アンカーボルト破断	両方				
昭和46年以前	9	17	1	38	48	113	
昭和47~56年	3	6	0	20	25	54	
昭和57年以降	2	7	1	9	28	47	
不明	12	16	2	32	74	136	
総計	26	46	4	99	175	350	



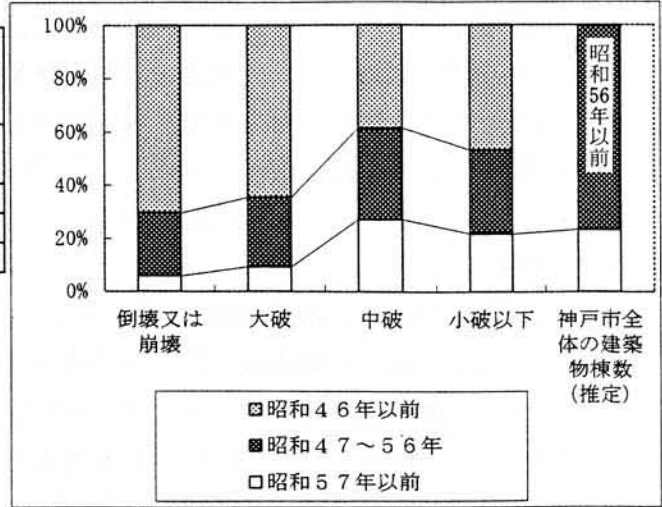
建築震災調査委員会緊急調査
(調査地域：神戸市内、実施期間：H7-2～3)

表2.2.1.14 被災度ランク（構造）別、神戸市全体の建築物棟数（推定）との比較

(1) 被災度ランク（構造）と推定建築年のクロス集計

(単位：棟)

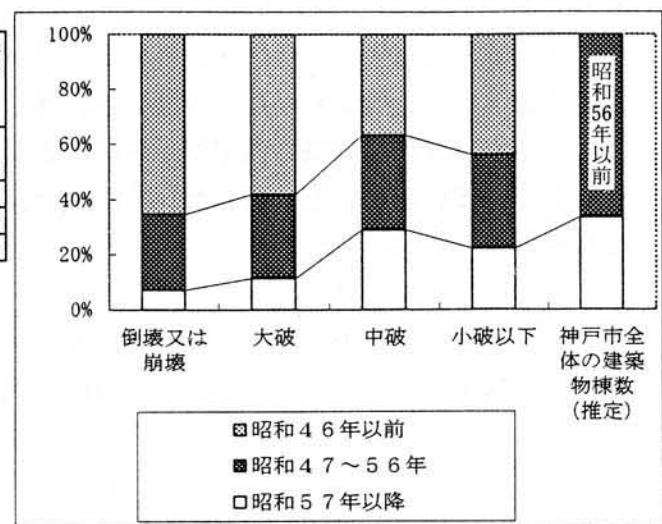
推定建築年	被災度ランク（構造）					神戸市全体の建築物棟数（推定）
	倒壊又は崩壊	大破	中破	小破以下	不明	
昭和46年以前	183	174	42	63	73	535
昭和47～56年	62	71	37	42	6	218
昭和57年以降	15	25	29	29	5	103
不明	79	119	35	61	81	375
総計	339	389	143	195	165	1231
						395000



(2) 非木造についての被災度ランク（構造）と推定建築年のクロス集計
(RC、SRC、S造)

(単位：棟)

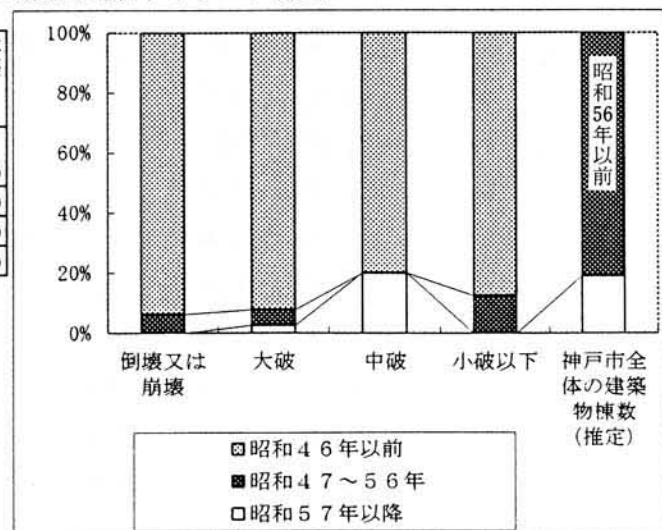
推定建築年	被災度ランク（構造）					神戸市全体の建築物棟数（推定）
	倒壊又は崩壊	大破	中破	小破以下	不明	
昭和46年以前	138	124	34	51	8	355
昭和47～56年	58	65	32	40	1	196
昭和57年以降	15	24	27	26	2	94
不明	56	88	25	46	14	229
総計	267	301	118	163	25	874
						119000



(3) 木造等についての被災度ランク（構造）と推定建築年のクロス集計

(単位：棟)

推定建築年	被災度ランク（構造）					神戸市全体の建築物棟数（推定）
	倒壊又は崩壊	大破	中破	小破以下	不明	
昭和46年以前	30	36	4	7	17	94
昭和47～56年	2	2	0	1	1	6
昭和57年以降	0	1	1	0	1	3
不明	17	26	6	8	2	59
総計	49	65	11	16	21	162
						276000



2. 2. 2 応急危険度判定結果のマクロ分析

(1) 応急危険度判定データの性格

応急危険度判定結果のマクロ分析に際しては、最終的に判定対象建物を地図上にプロットすることを目標としたため、判定表と、判定作業の際に携行し対象建物を記録した地図との対応関係を復元する作業を行った上で、判定シートのデータベースへの入力・集約・クリーニングおよび集計の作業を行った。

a) 票数

応急危険度判定は、46,610棟（2月9日に記者発表された集計結果による）の共同住宅を対象として危険（赤）・要注意（黄）・調査済（緑）の判定を行い、対象建物に判定結果を貼付すると共に、携行した判定シートに判定結果とそれに至るチェック項目を記入し、住宅地図に記入する方法で作業が進められた。記者発表では、地区別（神戸市7区、兵庫県下7市、淡路島の15区分）の内訳が、3段階の判定結果別に集計されているが、構造別内訳は発表されていない。そこで、今回入力した結果を、地区別・構造別に集計し、記者発表された集計結果と比較したものを表2.2.2.1に示す。

今回の集計段階までに集計・分析することができた判定シートの総数は、34,700票であり、記者発表された総数よりかなり少ないが、例えば、著しく少ない尼崎市及び明石市について確認した所、判定作業の際に判定シートを作成せず、判定結果だけ貼付した物件（被害のなかった建物）が多いとのことであった。地図には、判定シートと対応しない調査対象建物も緑色で多数マークされている。

表2.2.2.1：地区別構造別入力票数(括弧内は2月9日に記者発表した集計値)

番号	地区名	RC造	S造	木造	小計	(2月9日集計数)
1	灘区	1,398	448	1,191	3,037	(2,967)
2	東灘区	1,743	429	734	2,906	(3,005)
3	中央区	1,244	413	1,095	2,752	(3,054)
4	兵庫区	775	348	1,084	2,207	(2,247)
5	長田区	422	245	1,691	2,358	(2,418)
6	須磨区	366	193	958	1,517	(1,651)
7	垂水区	822	286	878	1,986	(2,017)
8	明石市	310	151	796	1,257	(2,977)
9	西宮市	2,848	1,301	2,014	6,163	(6,225)
10	芦屋市	526	158	206	890	(1,084)
11	尼崎市	105	190	2,668	2,963	(11,509)
12	川西市	275	295	2,017	2,587	(2,565)
13	伊丹市	537	451	445	1,433	(1,999)
14	宝塚市	511	589	883	1,983	(2,058)

15	淡路島	198	170	293	661	(834)
合計		12080	5667	16953	34700	(46,610)

なお、その後、地図情報システムへの座標値入力に先立って、住所等の正確を期すために、原票とフロッピーの再集約作業を行い、データ総数36,000票余りとなった。今後地図との照合・入力作業を進める中で、重複等のチェックを行い、最終的な票数は $36,000 - a$ として確定すると予想される。以下の分析では、表2.2.2.1の34,700票を対象とする。

b) 単純集計の概要

判定シートの記入状況を単純に集計した結果の概要をシートに記入したものを以下に示す。記入のなされていない項目も多く、また様式に従わず欄外にコメントとして記載された事項も多い。全体に共通して、A. は安全、B. は要注意、C. は危険、という判定である。百分率で示した集計値は、構造別総数中チェック等や記入があったものの比率であり、例えば落下物等については「有」にチェックがないにもかかわらず「B」にはチェックがある等、論理的でなく現場的な記入のされ方のものについても論理修正せず単純集計したままの数値を掲載している。

鉄筋コンクリート造建築物の応急危険度判定調査表

整理番号： _____ 番 調査日時： _____ 年 _____ 月 _____ 日 午前/午後 _____ 時
 調査回数： _____ 回目 調査者： _____
 所 属： _____

1. 建築物概要

集計値は、全12,080票に対する記入、チェック等の%

1. 1 建築物名称 _____
1. 2 建築物所在地 _____
1. 3 所有者 _____ 連絡先 _____
1. 4 連絡者 _____ 連絡先 _____
1. 5 建築物用途 事務所5.6% 住宅5.4 共同住宅89.6 店舗13.6 工場0.3 倉庫0.3 学校0.1
 (複数選択可) 保育所0.1 庁舎0.0 公民館0.1 体育館0.0 病院0.4 その他(別表参照)
1. 6 構造種別 鉄筋コンクリート造87.6 プレキャストコンクリート造1.4 ブロック造0.3
鉄骨鉄筋コンクリート造4.1 併用構造(略)造と(略)造)
1. 7 構造形式 ラーメン構造63.5 壁式構造26.7 その他(略)
1. 8 建築物規模 地上別表階 地下別表階 搭屋別表階 1階寸法：約略m×約略m
1. 9 外装仕上げ 打放し27.8 モルタル29.9 タイル32.0 石貼り0.4 カーテンウォール0.4
 (複数選択可) PC板1.0 ALC板0.5 ブロック0.1 その他(別表)

2. 外観調査

2. 1 構造躯体
- 2.1.1 地盤破壊による建築物全体の沈下 0.2m未満77.0% 0.2~1.0m0.6 1.0mを超える0.2
- 2.1.2 不同沈下による建築物全体の傾斜 1度(1/60)未満75.0 1度~2度1.0 2度(1/30)を超える0.4
- 2.1.3 ラーメン構造の外周柱の被害
 (調査階略階 外柱総数略本 調査柱略本 調査柱率=____%)
- 1) 損傷度IVの柱本数/調査柱本数 10%未満39.5% 10~20%0.8 20%を超える0.8
- 2) 損傷度Vの柱本数/調査柱本数 1%未満38.1 1~10%0.2 10%を超える1.0
- 3) 一見してCランクと分かる場合 1.4
- 2.1.4 壁式構造の外壁の被害
 (調査階略階 外壁総長さ略m 調査壁長さ略m 調査壁率=____%)
- 1) 損傷度IVの壁長さ/調査壁長さ 10%未満17.8% 10~20%0.1 20%を超える0.1
- 2) 損傷度Vの壁長さ/調査壁長さ 1%未満17.6 1~10%0.2 10%を超える1.0
- 3) 一見してCランクと分かる場合 0.3

2. 1 構造躯体の外観調査

- 1) 被災度ランクの数 Aランク _____ 個 Bランク _____ 個 Cランク _____ 個
- 2) 損傷度III以上の損傷部材の有無 無 有

2. 2 落下物

- 有 Aランク Bランク Cランク
- 1) 窓ガラスの破損 24.4 1%未満41.9 1~10%1.1 10%を超える0.4
- 2) 外装材 14.1 15.4 0.3 25.8 ほとんど無被害 部分的ひび割れ 顕著なひび割れ
 (モルタル タイル 石貼り) 42.0 部分剝離 5.4 顕著な剝離 1.0
- 3) 外装材 立て目地のきれ 板に隙間が見ら 目地ずれ顕著、
 (PC板0.5 ALC板0.3 ブロック) 2.1 つ程度 5.6 れる 0.3 板破壊 0.7
- 4) 庇、バルコニー 26.9 傾斜なし43.7 僅かな傾斜0.6 傾斜が明瞭0.4
- 5) バラベット 14.1 傾斜なし25.6 僅かな傾斜0.2 傾斜が明瞭0.1
- 6) 屋上広告塔 1.2 傾斜なし3.3 僅かな傾斜0.0 傾斜が明瞭0.0
- 7) キュウビクル 0.5 傾斜なし2.3 僅かな傾斜0.0 傾斜が明瞭0.0
- 8) クーリングタワー 0.1 傾斜なし2.7 僅かな傾斜0.1 傾斜が明瞭0.0
- 9) ウインドクーラー 1.2 傾斜なし3.0 僅かな傾斜0.0 傾斜が明瞭0.0
- 10) ベントハウト 3.0 傾斜なし5.5 僅かな傾斜0.1 傾斜が明瞭0.0
- 11) 屋上煙突 0.4 傾斜なし1.8 僅かな傾斜0.0 傾斜が明瞭0.1
- 12) その他(別表)

2. 3 転倒物

- 有 Aランク Bランク Cランク
- 1) 屋外階段 7.9 傾斜なし13.0 僅かな傾斜0.4 傾斜が明瞭0.3
- 2) ブロック塀 5.7 傾斜なし6.5 僅かな傾斜1.4 傾斜が明瞭1.6
- 3) 軽油タンク 0.2 傾斜なし1.3 僅かな傾斜0.0 傾斜が明瞭0.0
- 4) 自動販売機 0.4 傾斜なし1.5 僅かな傾斜0.0 傾斜が明瞭0.0
- 5) その他(別表)

2. 2 および 2. 3 落下物・転倒物の外観調査

1) 落下物・転倒物被災度ランクの数 Aランク _____ 個 Bランク _____ 個 Cランク _____ 個

3. 内部調査

3. 1 構造躯体

Aランク

Bランク

Cランク

3.1.1 ラーメン構造の内柱の被害

(調査階 _____ 階 内柱総数 _____ 本 調査柱 _____ 本 調査柱率 = _____ %)

- 1) 損傷度IVの柱本数/調査柱本数 10%未満 10~20% 20%を超える
 2) 損傷度Vの柱本数/調査柱本数 1%未満 1~10% 10%を超える
 3) 一見してCランクと分かる場合

3.1.2 壁式構造の内壁の被害

(調査階 _____ 階 内壁総長さ _____ m 調査壁長さ _____ m 調査壁率 = _____ %)

- 1) 損傷度IVの壁長さ/調査壁長さ 10%未満 10~20% 20%を超える
 2) 損傷度Vの壁長さ/調査壁長さ 1%未満 1~10% 10%を超える
 3) 一見してCランクと分かる場合

3. 1 構造躯体の内部調査

- 1) 被災度ランクの数 Aランク _____ 個 Bランク _____ 個 Cランク _____ 個
 2) 損傷度III以上の損傷部材の有無 無 有

3. 2 落下物・転倒物

有

Aランク

Bランク

Cランク

- 1) 天井仕上げ 健全 不明確 落下危険有
 2) 天井の照明器具 健全 不明確 落下危険有
 3) 天井の空調器具 健全 不明確 落下危険有
 4) 天井・壁の吊り下り器具 健全 不明確 落下危険有
 5) 間仕切り壁 健全 不明確 落下危険有
 6) 内部階段 健全 不明確 落下危険有
 7) その他(_____) 健全 不明確 落下危険有

3. 2 落下物・転倒物の内部調査

1) 落下物・転倒物の被災度ランクの数 Aランク _____ 個 Bランク _____ 個 Cランク _____ 個

4. その他

4. 1 隣接建築物等の倒壊等による危険 危険なし 不明確 危険あり
 4. 2 設備 電気 OK NO ガス OK NO 水道 OK NO 便所 OK NO

5. まとめ

5. 1 構造躯体に関する判定(「2. 1 外観調査」と「3. 1 内部調査」の和)

1) 被害度ランクの数	Aランク _____ 個	Bランク _____ 個	Cランク _____ 個
2) 損傷度III以上の損傷部材の有無	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 有	
構造躯体に関する判定結果	<input type="checkbox"/> 安全 82.6%	<input type="checkbox"/> 要注意 2.5	<input type="checkbox"/> 危険 (Bランクが 2個以上も含む) 2.3

5. 2 落下物・転倒物に関する判定(「2. 2-2. 3 外観調査」と「3. 2 内部調査」の和)

1) 落下物・転倒物被災度ランクの数	Aランク _____ 個	Bランク _____ 個	Cランク _____ 個
落下物・転倒物に関する判定結果	<input type="checkbox"/> 安全 74.1%	<input type="checkbox"/> 要注意 5.8	<input type="checkbox"/> 危険 (Bランクが 2個以上も含む) 3.1

5. 3 総合判定

5. 1 構造躯体に関する判定結果	<input type="checkbox"/> 安全	<input type="checkbox"/> 要注意	<input type="checkbox"/> 危険
5. 2 落下物・転倒物に関する判定結果	<input type="checkbox"/> 安全	<input type="checkbox"/> 立入り可能	<input type="checkbox"/> 部分立入り注意
	<input type="checkbox"/> 要注意	<input type="checkbox"/> 部分立入り注意	<input type="checkbox"/> 立入り禁止
	<input type="checkbox"/> 危険	<input type="checkbox"/> 部分立入り禁止	<input type="checkbox"/> 立入り禁止

部分立入り禁止の範囲：
 部分立入り注意の範囲： _____

5. 4 避難所としての使用 使用可能 使用不可

鉄骨造建築物の応急危険度判定調査表

整理番号： _____ 番 調査日時： _____ 年 _____ 月 _____ 日 午前/午後 _____ 時
 調査回数： _____ 回 調査者： _____
 所 属： _____

1. 建築物概要

集計値は全 5,667 票に対する記入・チェック等の%

1. 1 建築物名称 _____
 1. 2 建築物所在地 _____
 1. 3 所有者 _____ 連絡先 _____
 1. 4 連絡者 _____ 連絡先 _____
 1. 5 建築物用途 共同住宅 33.2% 13.3%
 事務所 3.4% 住宅 63.0% 店舗 校舎 0.0% 体育館 0.0% 工場 0.4% 倉庫 0.4%
 その他 (_____ 別表 _____)
 1. 6 階数および基準階平面
 地上 別表 階 階屋 別表 階 地下 別表 階 基準階平面 略 m × _____ m
 1. 7 構造種別 64.2% 22.0% 2.7% フレハブ 2.9%
 ラーメン構造 筋かい構造 混合構造 その他 (軽量鉄骨フレハブ 0.4%)
 1. 8 外装材 27.5% 37.8% 1.4% 軽量鉄骨 0.3% 外
 ラスモルタル ALC板 カーテンウォール その他 (_____)

サイディング 5.7%
 パネル 4.5%
 タイル 3.9%
 ホード 3.5%
 外.

2. 調査

2. 1 構造部分に関する調査

1) 地盤

- | | Aランク | Bランク | Cランク |
|-------------|--|--|--|
| ①建築物周囲地盤の沈下 | <input type="checkbox"/> 10cm以下
83.4% | <input type="checkbox"/> 10cm超30cm以下
1.0 | <input type="checkbox"/> 30cm超あるいは地割れ
0.5 |
| ②建築物の不同沈下勾配 | <input type="checkbox"/> 1/300以下
80.8 | <input type="checkbox"/> 1/300超、1/100以下
1.1 | <input type="checkbox"/> 1/100超
0.8 |

2) 建築物全体 (建築物の傾斜)

- | | Aランク | Bランク | Cランク |
|--------------------|---|---|---------------------------------------|
| ①傾斜を生じた階の上の階数が1階以下 | <input type="checkbox"/> 1/100以下
55.7% | <input type="checkbox"/> 1/100超、1/30以下
1.8 | <input type="checkbox"/> 1/30超
1.4 |
| ②傾斜を生じた階の上の階数が2以上 | <input type="checkbox"/> 1/200以下
48.4 | <input type="checkbox"/> 1/200超、1/50以下
3.0 | <input type="checkbox"/> 1/50超
2.7 |

3) 構造骨組

- | | Aランク | Bランク | Cランク |
|------------------|---|--|--|
| ①部材の座屈の有無 | <input type="checkbox"/> なし 51.7% | <input type="checkbox"/> 局部座屈あり 2.0 | <input type="checkbox"/> 全体座屈あるいは著しい局部座屈 1.9 |
| ②筋かいの破断率 | <input type="checkbox"/> 20%未満 26.0 | <input type="checkbox"/> 20%以上50%未満 0.6 | <input type="checkbox"/> 50%以上 0.7 |
| ③柱はりの接合部および継手の破損 | <input type="checkbox"/> 接合部の変形 26.7 | <input type="checkbox"/> ボルトの一部破断 1.1
あるいは接合部の
きれつ | <input type="checkbox"/> 接合部または継手の
20%以上の破断 |
| ④柱脚の破損 | <input type="checkbox"/> 基礎コンクリートのひび割れ 37.9 | <input type="checkbox"/> 基礎コンクリートの部分的破壊 3.1 | <input type="checkbox"/> 基礎コンクリートの圧壊あるいはアンカーボルトの破断・引抜け 1.3 |

- ⑤腐食の有無 31.7 ほとんどなし 5.7 著しい錆が各所に見られる 0.8 孔食が各所に見られる

2. 2 非構造部分に関する調査 (内外装材の破損)

- | | Aランク | Bランク | Cランク |
|----------------------------------|---|---|---|
| ①内外壁などの仕上げ | <input type="checkbox"/> 隅角部などのわずかなきれつ
40.1% | <input type="checkbox"/> 木目ずれ・わずかな剝離
13.7 | <input type="checkbox"/> 全面にわたる大きなきれつ・面外へのはらみだし・部分的あるいは大きな剝落
8.9 |
| ②開口部・窓ガラス | <input type="checkbox"/> 閉閉に少々支障をきたす・ひび割れ程度
40.0 | <input type="checkbox"/> 多くの隅角部破損・開閉困難
3.5 | <input type="checkbox"/> 大半が破損・開閉不能・著しい破壊
1.8 |
| ③天井の仕上げ・照明器具の落下の危険 | <input type="checkbox"/> なし
13.7 | <input type="checkbox"/> 落下の危険性が少しある
2.1 | <input type="checkbox"/> 落下の危険性がある、あるいは落下している
1.4 |
| ④床のひび割れ・たわみ・むくりの有無 (土間コンクリートを除く) | <input type="checkbox"/> なし
15.4 | <input type="checkbox"/> 20%未満
2.1 | <input type="checkbox"/> 20%以上
0.7 |
| ⑤間仕切の倒壊・転倒の危険 | <input type="checkbox"/> 健全
12.0 | <input type="checkbox"/> 一部破損している
2.3 | <input type="checkbox"/> 大部破損している
0.9 |
| ⑥その他
() | <input type="checkbox"/> 安全
ブロック塀 0.2%
タイル 0.1
瓦 0.1
ALC板目かくし 0.1 | <input type="checkbox"/> 少々危険 | <input type="checkbox"/> 大変危険 |

3. 調査結果

3. 1 危険度

	調査項目数	Aランクの数	Bランクの数	Cランクの数
構造部分に関する調査	別表	別表	別表	別表
非構造部分に関する調査	別表	別表	別表	別表
合計	別表	別表	別表	別表

3. 2 総合判定

総合判定では、Cランクが1つ以上あるいはBランクが調査項目数の内半数以上の場合を「危険」、又、すべての調査項目がAランクの場合を「安全」、その他の場合を「要注意」と判定することとする。

- したがって、以上の調査結果から当該建物は、
- 危険……当面使用禁止 10.9 %
 - 要注意……使用注意 16.4
 - 安全……継続使用可能 69.5
- と判定する。

3. 3 注意事項 (その他気がついた点)

構造部分：
非構造部分：
落下物：

木造建築物の応急危険度判定調査シート

整理番号： _____ 番 調査日時： _____ 年 _____ 月 _____ 日 午前 / 午後 _____ 時
 調査回数： _____ 回目 調査者： _____
 所 属： _____

1. 建物概要

集計値は全 16,953 票に対する記入・チェック等の%

1. 1 建物名称 _____
1. 2 所在地 _____ 市 _____ 町 _____ 丁目
 _____ 郡 _____ 村 _____ 大字 _____ 番地
1. 3 連絡先 氏名 _____ 電話 _____
1. 4 建物種別
- | | | | |
|-----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 住宅 16.2% | <input type="checkbox"/> アパート 73.9% | <input type="checkbox"/> 商店 0.9% | <input type="checkbox"/> 店舗併用住宅 2.0% |
| <input type="checkbox"/> 事務所 0.2 | <input type="checkbox"/> 学校 0.0 | <input type="checkbox"/> 工場 0.0 | <input type="checkbox"/> 倉庫 0.1 |
| <input type="checkbox"/> 旅館 0.0 | <input type="checkbox"/> 病院 0.0 | <input type="checkbox"/> 畜舎 0.0 | <input type="checkbox"/> その他
(別表) |
1. 5 建築年度 (新築年度 記入 16.4% : 増改築年度 記入 0.4%)
1. 6 階 数
- | | | |
|----------------------------------|------------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> 平屋 4.9% | <input type="checkbox"/> 2階建 87.3% | <input type="checkbox"/> その他 (記入 1.1% 内 3階 0.3%) |
|----------------------------------|------------------------------------|--|
1. 7 1階床面積 (記入 47.5% m² (記入 17.1% 坪))
1. 8 外装仕上げ
- | | | | |
|---------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> ラスモルタル 83.8% | <input type="checkbox"/> 金属板 2.8% | <input type="checkbox"/> ボード類 2.2% | <input type="checkbox"/> その他 (記入 4.3% 別表) |
|---------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|---|

2. 建物調査

- | | Aランク | Bランク | Cランク |
|---------------|--|--|---|
| 2. 1 建物の不同沈下 | <input type="checkbox"/> 不同沈下がないか
あっても軽微
75.6% | <input type="checkbox"/> 床、屋根の落込み
浮き上がりが著し
い 60.6% | <input type="checkbox"/> 小屋組みの破壊、
床全体の沈みこみ
8.1% |
| 2. 2 建物1階の傾斜 | <input type="checkbox"/> 1/60以下
63.2% | <input type="checkbox"/> 1/60を超え1/20以
下 11.1% | <input type="checkbox"/> 1/20を超える
11.4% |
| 2. 3 内外装仕上 | <input type="checkbox"/> わずかなひび割れ
33.6% | <input type="checkbox"/> 大きな亀裂、剥落
10.7% | <input type="checkbox"/> 亀裂、剥落により
落下の恐れ 22.8% |
| 2. 4 落下物の危険性 | <input type="checkbox"/> 危険性なし
38.3% | <input type="checkbox"/> 除去により危険回
避可能 31.2% | <input type="checkbox"/> 危険性あり
17.0% |
| 外装材 | <input type="checkbox"/> 23.4% | <input type="checkbox"/> 25.7% | <input type="checkbox"/> 12.9% |
| ガラス | <input type="checkbox"/> 39.1% | <input type="checkbox"/> 4.4% | <input type="checkbox"/> 4.7% |
| その他 (記入 4.2%) | <input type="checkbox"/> 4.0% | <input type="checkbox"/> 2.4% | <input type="checkbox"/> 2.0% |

3. 調査結果

7"ロック坪 0.3% 屋外階段 } 0.4% 階段 0.2% "A"ランク 0.1% 擁壁 0.1% 等
 外階段

3. 1 調査結果のまとめ
- | | | |
|-------------|-------------|-------------|
| Aランクの数 (別表) | Bランクの数 (別表) | Cランクの数 (別表) |
|-------------|-------------|-------------|
3. 2 危険度ランク
- | | |
|---|-------|
| <input type="checkbox"/> 危 険：Cランクが1つでもある | 29.1% |
| <input type="checkbox"/> 要注意：Cランクがなく、A及びBランクのみの場合 | 39.6% |
| <input type="checkbox"/> 安 全：全てがAランク | 29.0% |
3. 3 コメント
- 建 物 (_____)
- 落 下 物 (_____)

別 表

① 鉄筋コンクリート造（全12,080票に対する記入・チェック等の比率を示す）

(1.5)建築物用途（13）その他 として記入されているもの

寮	0.6%	長屋	0.5%	社宅	0.2%
駐車場	0.2%	車庫	0.1%	など	

(1.8)建築物規模

(1)地上 階

15階超:	0.2%	14階:	0.4%	13階:	0.2%	12階:	0.4%	11階:	1.2%	10階:	1.3%				
9:	1.1%	8:	2.3%	7:	4.2%	6:	5.2%	5:	17.9%	4:	27.9%	3:	26.7%	2:	4.5%

(2)地下 階

1階:	5.8%	2:	0.2%	3:	0.2%	4-:	0.1%
-----	------	----	------	----	------	-----	------

(3)塔屋

1階:	8.1%	2:	0.7%	3-:	0.0%
-----	------	----	------	-----	------

(1.9)外装仕上げ

(10)その他	吹き付けタイル	6.9%	吹き付け	3.5%	等
---------	---------	------	------	------	---

(2.)外観調査

(2.2)落下物

12)その他

水槽0.2%、受水槽0.1%、高架水槽/高置水槽/高架タンク 0.4%、EXP.J 0.1%等

5)その他 受水槽0.1%、給水タンク0.0%、擁壁0.1%等

② 鉄骨構造（全5,667票に対する記入・チェック等の比率を示す）

(1.5)建築物用途

(8)その他 アパート(0.5%)、長屋(0.4%)、共同住宅(0.5%)、車庫(0.2%)等

(1.6)階数および基準階平面

(1)地上 階（最大 37）

10階超:	0.2%	9階:	0.2%	8:	0.4%	7:	0.5%	6:	0.9%	5:	4.3%	4:	12.1%
3:	34.6%	2:	42.9%	1:	0.6%								

(2)塔屋 階

5階:	0.0%	4:	0.0%	3:	0.0%	2:	0.2%	1:	4.7%
-----	------	----	------	----	------	----	------	----	------

(3)地下 階

1階:	1.3%	2:	0.1%	3:	0.1%
-----	------	----	------	----	------

(3.)調査結果

(3.1)危険度

(1)構造部分に関する調査

調査項目数として4項目調査したものが最多で、3項目がこれに次ぐ。Aランクの判定結果となった項目数は4項目が最多、同様にBランクは1項目、Cランクは1項目が最も多い。0と明示的に記入しているものと無記入のもの（残り）の識別は明確ではないので、ここでの集計は割愛した。

記入値	調査項目数の欄	Aランクの数の欄	Bランクの数の欄	Cランクの数の欄
1と記入の割合	1. 1%	1. 9	7. 1	2. 5
2と記入 "	3. 7	6. 7	2. 6	1. 2
3 "	12. 2	13. 3	1. 4	0. 7
4 "	16. 3	17. 7	0. 5	0. 5
5	10. 2	10. 1	0. 2	0. 1
6	7. 8	6. 7	0. 0	0. 1
7	7. 8	6. 6		
8	6. 9	1. 0		
9	10. 0	1. 5		
10	0. 3	0. 3		
11	0. 1	0. 1		
12	0. 1	0. 1		
13	0. 0	0. 0		
14	0. 0	0. 0		
15	0. 0	0. 0		

(2)非構造部分に関する調査

構造部分と比較して調査された項目数が少なく、2項目が最多である。調査結果ではAランクの項目数では2項目が最多、BランクおよびCランクの項目の数では（0項目を除き）各々1項目が最も多い。

記入値	調査項目数の欄	Aランクの数の欄	Bランクの数の欄	Cランクの数の欄
1と記入の割合	13. 8%	18. 2	14. 0	5. 6
2	27. 3	21. 4	3. 2	1. 5
3	5. 5	4. 9	1. 3	0. 5
4	4. 1	3. 7	0. 3	0. 2
5	6. 2	4. 2	0. 1	0. 1
6	2. 7	1. 4	0. 0	0. 2
7	0. 1	0. 1		0. 0
8	0. 0	0. 0		

(3)合計

構造・非構造の合計では、調査項目数は6項目が最多、調査結果ではAランクの項目数では2項目が最多、Bランク・Cランクの項目の数では（0以外では）1項目の調査シートが最多である。

記入値	調査項目数の欄	Aランクの数の欄	Bランクの数の欄	Cランクの数の欄
1と記入の割合	0.9%	0.3	11.6	4.6
2	1.7	4.3	5.7	1.9
3	4.2	5.9	2.7	1.1
4	7.0	9.8	1.3	0.8
5	9.4	10.5	0.6	0.5
6	10.7	10.0	0.6	0.1
7	7.3	6.5	0.2	0.1
8	6.5	5.8	0.1	0.2
9	7.7	7.5	0.0	0.1
10	5.2	4.4	0.1	0.1
11	5.2	4.4	0.0	
12	2.4	1.8	0.1	
13	1.8	1.3	0.1	
14	1.7	1.4	0.0	
15	1.4	0.8		
16	0.0	0.0		

③ 木造建築物(全 16,953 票に対する記入・チェック等の比率を示す)

(1.4)建物種別

(12)その他

長屋 5.9%、共同住宅 10.9%、文化 0.1%、2戸 1:0.3%、2戸長屋 0.6%、寮 0.1%、等

(1.8)外装仕上げ

(4)その他(記入 4.3%)

タイル 0.3% 土壁 0.4% 板 0.6% しっくい 0.2% 下見板 0.1% サイディング 0.1% 木 0.1%
トタン 0.2% 吹き付けタイル 0.2% 等

(3.)調査結果

(3.1)調査結果のまとめ

シート中でのAランクの数の集計値は2となっているシートが最多で16.4%、同様にBランクの数は2が最多、Cランクは1が最多である。Bランクが5項目以上となっているシートがほとんどない(約1%)のに対して、Cランクが6項目以上のシートが2%程度あることは、地震入力が大きくなるとBランクの項目が足並みをそろえて増えるよりも以前にCランクの状態になってしまう建築部分が多いことを示している。

記入された値	Aランクの数 欄	Bランクの数 欄	Cランクの数 欄
1と記入の割合	9.8%	17.3	6.4
2	16.4	18.0	6.2
3	15.0	12.6	5.8
4	15.2	3.5	5.0
5	7.7	0.8	1.9
6	10.5	0.2	1.6
7	1.7	0.0	0.4
8	0.0		0.0

c) 危険度判定結果の判定

危険度の総合判定結果は、判定表の最後の部分に記入欄があるが、必ずしも記載されていない場合が多い。項目別判定結果の集計だけがあって、総合判定結果の記載がないシート、逆に項目別の記載が全くなく、総合判定結果だけが記入されているシート、全く様式に従った判定項目の記入がなく、欄外に「倒壊」あるいは「安全」、「一見して安全」、「黄紙」、「ガラスの落下に注意」、「モルタルの落下」、「擁壁の沈下」等とのみ記入されているシート等様々である。また、項目別集計結果をマニュアル通りに総合した結果と、記載されている総合判定結果が異なるシートも存在している。そこで、総合判定結果に至る前の個別項目判定結果の集計を見て、これに対して総合判定を行うマニュアル通りの手順を適用した結果と、記載されている総合判定結果を対照しながら集計を行った。

総合判定結果が項目別判定結果をマニュアルに従って評価した結果と異なる場合には、現場には総合判定結果の色紙が貼られた、と解釈した。但し、総合判定結果が記入されておらず、項目別判定結果のみが記入されているシートに関しては、個別判定結果に基づくマニュアルとおりの判断がなされているものと見なした。項目別判定の集計も総合判定結果も記入されていないシートに関しては、欄外等のメモ等が入力されているものについては、このコメントが貼られた判定紙の色と重要な関係がある、と考えられるため、以下のように仕分けた。

「倒壊」「崩壊」「全壊」「1階圧壊」「黒紙あり」等	→C (危険)
「クラック有」「亀裂あり」「傾斜」「黄紙」等	→B (注意)
「ガラス落下注意」、「モルタル落下注意」等	→b (落下物注意)
「安全」「損傷なし」「被害なし」「異常なし」等	→A (安全)
「全焼」等	→D (全焼)

このコメントの傾向は、構造により異なっている。

鉄筋・鉄骨造 → 調査するまでもなく安全と判断されたものが大半

木造 → 全壊状態であるため、調査する意味がないものが大半

最後に、コメントすらない判定シート（建物を同定する情報しかないもの）については、上記のコメントだけ付いているシートの内容から判断して、当面暫定的に、以下のように集計に加えた。

鉄筋・鉄骨造 → 調査するまでもなく安全と判断されたと解釈（総数の約8%）

木造 → 全壊状態であるため、調査する意味がなかったと解釈（総数の1%弱）

但し、これについては、更に緊急危険度判定対象等との照合を行う必要がある。

以上の検討に基づいて、構造別・地域別に判定結果を集計したものを表2.2.2.2~4に示す。

表2.2.2.2 鉄筋コンクリート造の地区別判定結果の集計

番号	地区名	計	安全	要注意	危険
1	灘区	1,398	1,305	53	40
2	東灘区	1,743	1,619	69	55
3	中央区	1,244	1,184	28	32
4	兵庫区	775	693	33	49
5	長田区	422	374	21	27
6	須磨区	366	328	19	19
7	垂水区	822	798	13	11
8	明石市	310	291	17	2
9	西宮市	2,848	2,754	53	41
10	芦屋市	526	479	27	20
11	尼崎市	105	93	5	7
12	川西市	275	274	1	0
13	伊丹市	537	533	4	0
14	宝塚市	511	501	7	3
15	淡路島	198	192	5	1
合計		12,080	11,418	355	307

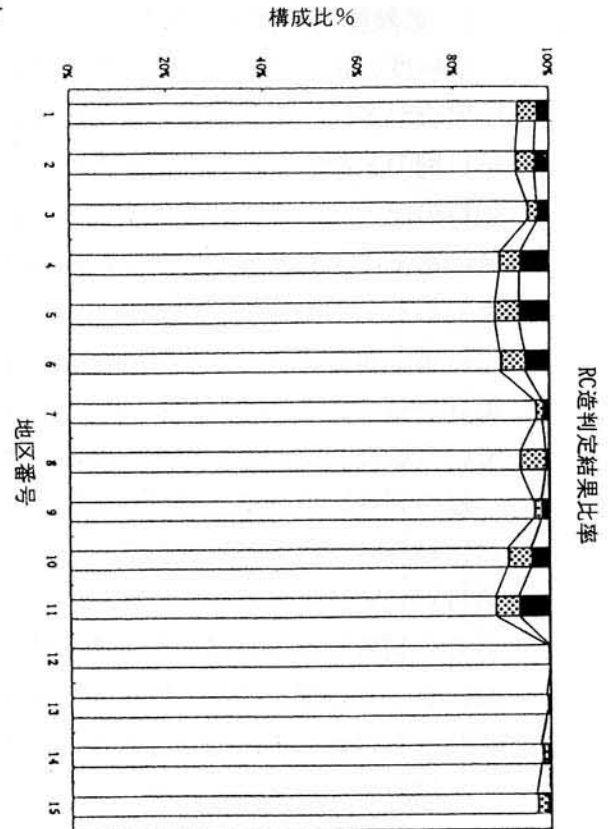


表2.2.2.3 鉄骨造の地区別判定結果の集計

番号	地区名	計	安全	要注意	危険
1	灘区	448	280	93	75
2	東灘区	429	276	77	76
3	中央区	413	230	107	76
4	兵庫区	348	211	68	69
5	長田区	245	133	63	49
6	須磨区	193	126	37	30
7	垂水区	286	252	28	6
8	明石市	151	86	58	7
9	西宮市	1,301	987	200	114
10	芦屋市	158	101	27	30
11	尼崎市	190	77	93	20
12	川西市	295	265	27	3
13	伊丹市	451	433	16	2
14	宝塚市	589	477	41	71
15	淡路島	170	160	8	2
合計		5,667	4,094	943	630

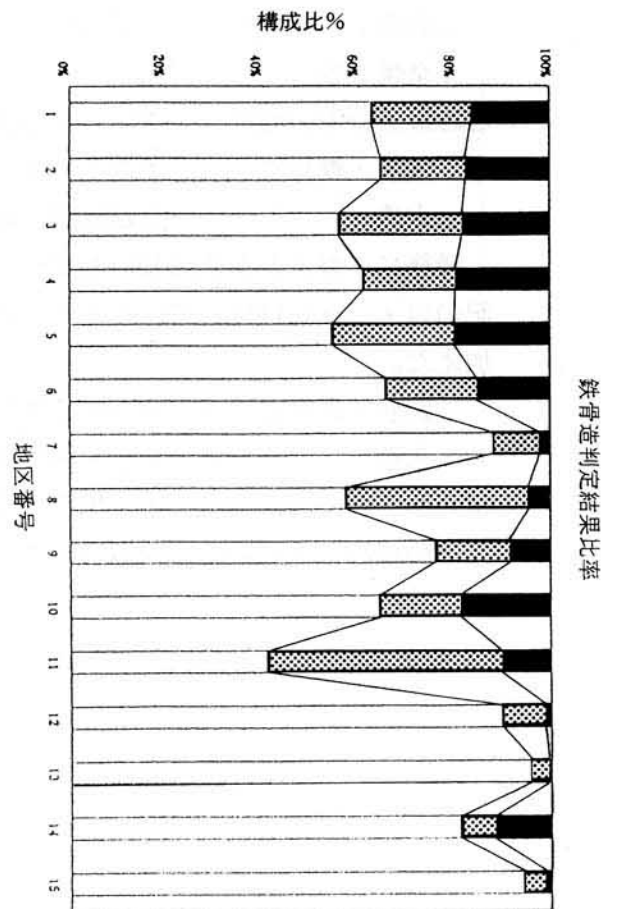
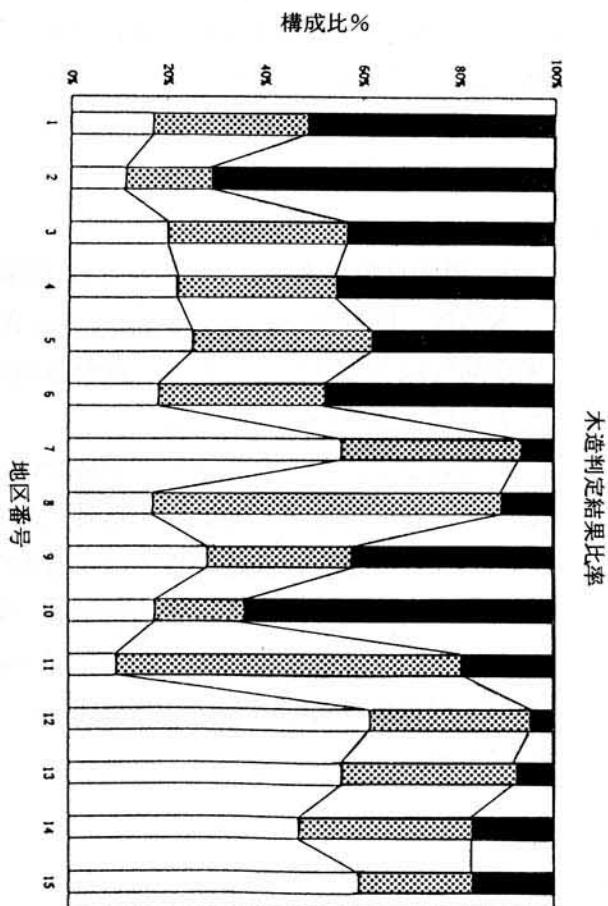


表2.2.2.4 木造の地区別判定結果の集計

番号	地区名	計	安全	要注意	危険
1	灘区	1,191	203	377	611
2	東灘区	734	85	128	521
3	中央区	1,095	224	398	473
4	兵庫区	1,084	246	346	492
5	長田区	1,691	432	615	644
6	須磨区	958	178	327	453
7	垂水区	878	492	322	64
8	明石市	796	139	571	86
9	西宮市	2,014	580	591	843
10	芦屋市	206	37	37	132
11	尼崎市	2,668	266	1,887	515
12	川西市	2,017	1,248	671	98
13	伊丹市	445	249	159	37
14	宝塚市	883	418	315	150
15	淡路島	293	174	69	50
合計		16,953	4,971	6,813	5,169



この集計結果から、以下の点が指摘できる。

①構造別に、危険・要注意と判定された共同住宅の比率が大きく異なっている。全体で見ると、

	安全	要注意	危険
鉄筋コンクリート造	94.5%	2.9%	2.5%
鉄骨造	72.2%	16.6%	11.1%
木造	29.3%	40.2%	30.5%

となり、鉄筋コンクリート造で要注意・危険と判定された建物の比率が低いのに対して、鉄骨造・木造の順で危険と判定された建物の比率が高くなる。

②地区別に見ると、まず卓越する構造が異なっており（表2.2.2.1）、神戸市灘区、中央区、西宮市、芦屋市で鉄筋コンクリート造が多いのに対して、神戸市兵庫区、長田区、須磨区、垂水区、明石市、尼崎市、川西市で木造が過半を占める。このことを念頭において要注意、危険と判定された建物の比率が高い地区を挙げると、神戸市兵庫区・長田区・芦屋市等である。

(2) 分析と仮説

一般に、ある地域の地震入力が大きくなるに従い、安全100%から次第に要注意の比率が増加し、次いで危険の比率が高まって100%に近づくに従い、要注意の比率は再び減少するという関係にあると考えられる。しかしながら、地震入力が直接的に把握されている地点は限られてい

る。そこで、応急危険度判定の結果を地区別・構造別・判定結果（要注意・危険）別に比較して見ることを通して、地震入力が大きくなるに従い安全→要注意→危険と被災状況が進行する様子、また異なる構造間での被災状況の違いを間接的に見ることができ、いくつかの仮説的な知見を得ることができる。

a) 要注意の比率と、危険の比率の相関散布図を、構造別に図2.2.2.1～3に掲げる。

木造は、明石市(8)・尼崎市(11)を除き、危険と判定された建物の比率に関りなく要注意の比率が40%以内で推移しており、壊れる時には一挙に全壊状態になる(要注意領域が狭い)、というある種の脆さを示している。

鉄骨造および鉄筋コンクリート造では、大半が要注意の比率と危険の比率がほぼ比例関係で、しかも同程度で推移している。例外である明石市・尼崎市については、2月9日の集計より票数が著しく少なく、前述の理由により安全と判定された建物に関するデータが欠落している、という理由が考えられる。要注意領域の幅については、木造と比較して罹災率の低い範囲しか見ていないこととなるため、これだけでは比較できない。より細かい地区単位での(入力がきわめて大きかった地区だけを識別できるだけの解像度のある)分析が必要であり、今後行う予定である。

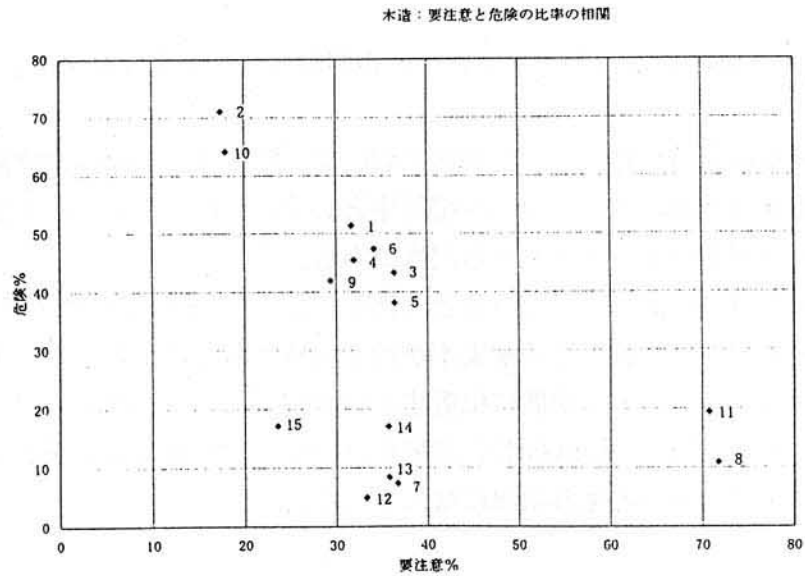


図2. 2. 2. 1 木造建物の要注意と危険の比率の関係

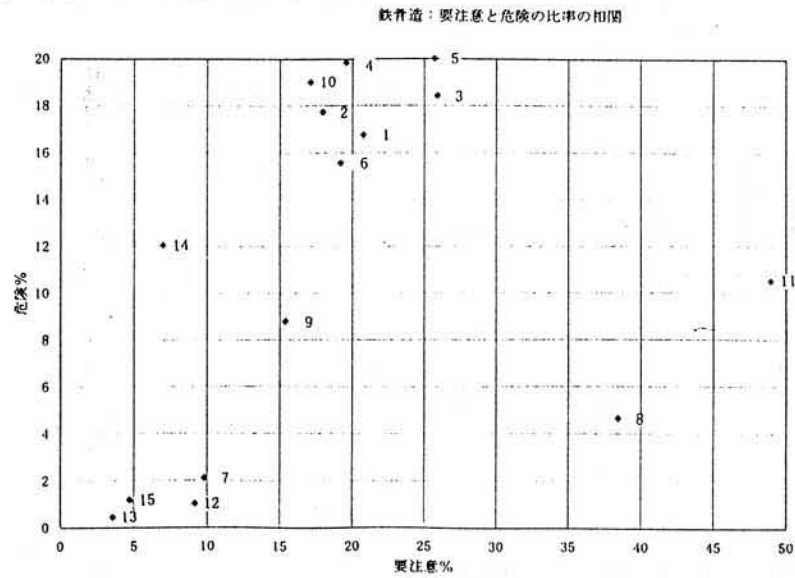


図2. 2. 2. 2 鉄骨造：要注意と危険の比率の相関

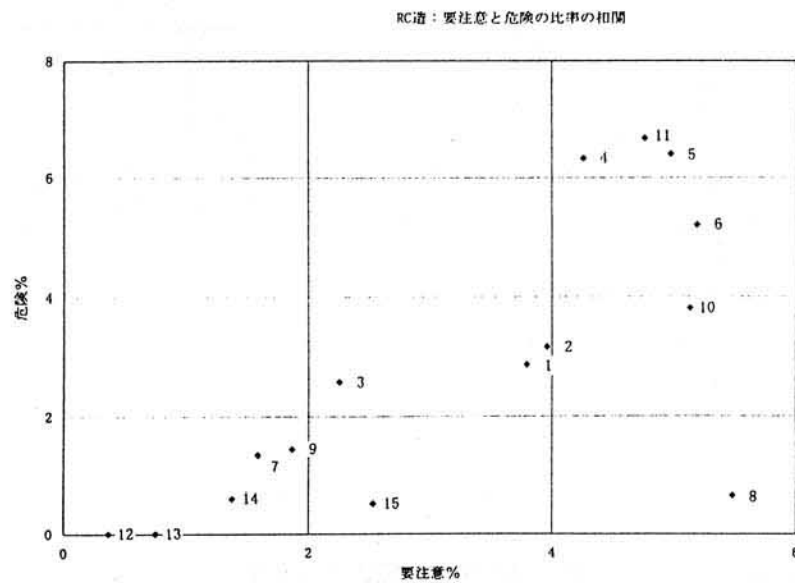


図2. 2. 2. 3 鉄筋コンクリート造：要注意と危険の比率の相関

b) 構造間で、各地区の罹災率がどのように相関しているかを散布図にしたものを、図2.2.2.4～6に掲げる。

なお、この分布を見るためには、各地区において、要注意と危険の建物数を合計したもののその地区の対象建物総数に対する比率を罹災率としているが、正確には「応急危険度判定基準に基づく要注意限界超過率」と呼ぶべき尺度である。

まず鉄骨造と木造の相関について見ると（図2.2.2.4）、神戸市垂水区(7)、川西市(12)、伊丹市(13)、淡路島(15)等で鉄骨造の罹災率が10%内外であるのに対して、木造の罹災率が既に40%前後の水準となっている。中間に位置するのが宝塚市(14)、西宮市(9)である。神戸市灘区(1)、灘区(2)、中央区(3)、兵庫区(4)、芦屋市(10)等、鉄骨造の罹災率が35%を超えた地区では、木造の罹災率は75%を超える状況になっている。

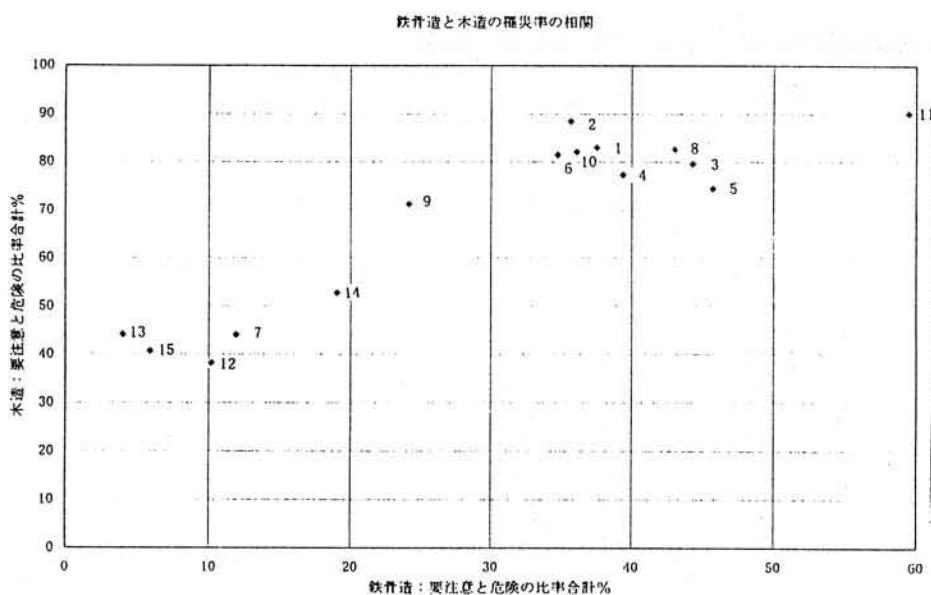


図2.2.2.4 鉄骨造と木造の罹災率の相関

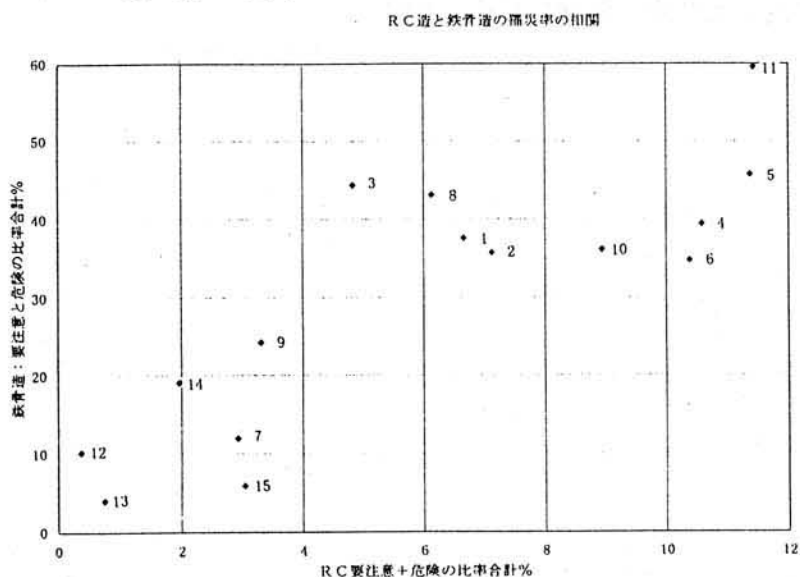


図2.2.2.5 鉄筋コンクリート造と鉄骨造の罹災率の相関

次に鉄骨造と鉄筋コンクリート造の相関について見ると（図2.2.2.5）、鉄骨の罹災率が0～60%、鉄筋コンクリートの罹災率が0～12%程度の範囲に比例的に分布している。

各々の罹災率が地震入力の変数であるとすれば、このグラフは（直接的にはまだ数値として地区別に把握されていない）地震入力をパラメータとする陰関数を示している。

木造の半数が罹災する地震入力において、鉄骨造はまだ20%程度しか罹災しておらず、鉄骨造が50%程度罹災する地震入力によっても、鉄筋コンクリート造は10%程度しか罹災していない。

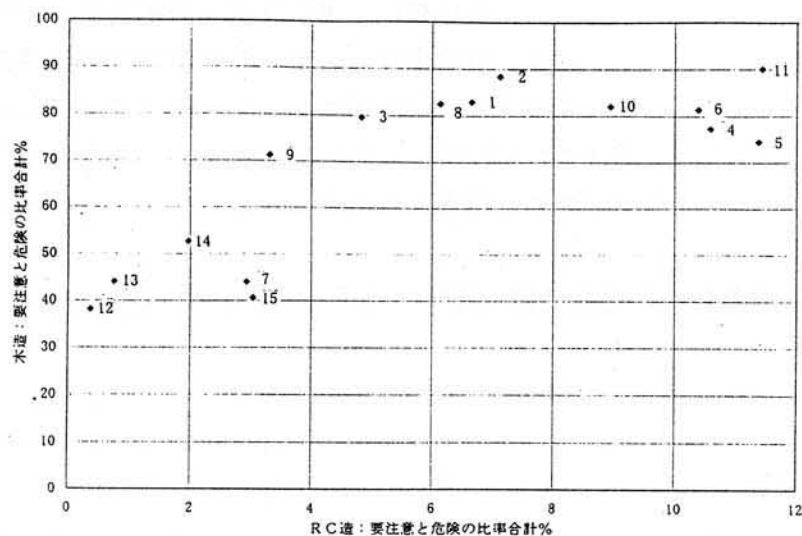


図2.2.2.6 鉄筋コンクリート造と木造の罹災率の相関

最後に鉄筋コンクリート造と木造の罹災率の相関を見る（図2.2.2.6）と、鉄筋コンクリートの罹災率が2%に達する地震入力で、木造は既に過半数が罹災している。地震入力と罹災率の関係は、罹災率が100%を超えない性質の数値であるため、線形ではなく右に倒れる曲線を描く筈である。この分布を、最小二乗法のように直線近似で認識するか、右倒しの曲線と認識するかで、解釈が異なってくる。

仮に後者の認識を採るならば、この近似から右方向に外れたグループとして、低い地震入力水準の方では神戸市垂水区(7)、淡路島(15)、高い地震入力水準の方では神戸市兵庫区(4)、長田区(5)、須磨区(6)、芦屋市(10)がこれに該当する。このグループは、他が一群であるとする、木造罹災率との相関において予想される鉄筋コンクリートの罹災率よりも著しく右方に偏って分布（つまり大きく罹災）している。とすれば、地盤条件や、地震入力の質（例えば周期成分）の違いとして更に分析されなければならない問題を提示していることになる。この偏りが「木造の罹災率の下方シフト」ではなく、「鉄筋コンクリート造の罹災率の上方シフト」であることは、鉄筋コンクリート造と鉄骨造の罹災率の相関(図2.2.2.5)においても、上記の各地区に関して右方シフトが認められることで確認できる。このことは3種類の構造が対象とされ比較できたことで初めて識別できることである。

なお、以上の分析は、問題の所在を指摘するために、神戸市の各区と、兵庫県下山陽道の諸市、および淡路島一括という15の地区区分で行った粗い分析であり、一つの地区の中にも地震の入力の程度が大きく異なる地区が混在していることは自明である。そのことにより相関分

布等においては傾向が丸められ鈍化しているわけであるが、それにも係わらず上記のような傾向が指摘できる点は特筆すべきである。

今度の分析の中で、各調査対象物の地図上の座標位置の特定作業終了後に、より細かな地区（その内部で地震入力がほぼ一様であると見なせる程度の解像度を有する領域）単位での相関分析を行うことにより、より明確な要注意限界と危険限界の相関、およびより広い地震入力レンジにおける罹災率の関数形が求められるであろう。

なお、本分析において対象としている建物は、集合住宅に限定されていることから、建物種類の地区別のバラツキによる影響は比較的少なく、また基本的には悉皆調査の結果（尼崎および明石を除く）であり、かつ大破の建物だけを拾うような目的ではなく、対象とした領域の全対象物件を判定する目的で実施されていることから、罹災率に関する信頼性が比較的高く、結果的に上記のように相関関係が歴然と認識できるような分布図になったと考えることができる。

（3）地区別の母数についての把握（課税台帳データに基づく、ストックに関する集計について）

兵庫県下では、都市計画基礎調査の目的のために、兵庫県から定期的に各市町村（都市計画区域を有するものに限る）に対して、地区別諸元の集計のために、家屋台帳・土地台帳をベースにしたデータの作成を依頼し、これを県で一括して集計を行い、データを作成している。但し、神戸市においては、最終的に必要とされる集計と同じものを市独自で作成し、これを県に提出している。

被災率の把握のための母数となる災害前のストックについて、建築年次別に把握すること、及び罹災した建物について、可能な限り建築年次を特定することを目的として、震災調査委員会より各市町村に情報提供を依頼し、その際に、上記の目的で昭和55年度に作成した集計のためのデータ（磁気テープ）が残存している場合については、これを貸与することを要請し、現在までに芦屋市及び西宮市を除く兵庫県の各市、及び淡路島の一部から快諾を頂き、情報を提供して頂いた。このデータは、住所が丁目程度までであり、個別の建物と一対一対応させることができないが、地区毎の特性等をみる上では貴重なデータである。今回は、被災前のストックの建設年次別構成についての概況を報告する。

a) 神戸市

神戸市では、上記のように、既に集計され県に提出された磁気テープのみが残存していたが、この中では、建築年次については10年刻み（例えば昭和21～30年等）の集計しか行われていない。幸い、これとは別に市で同じデータに基づいて、市独自で都市計画のために使用する目的で5年刻みの集計を行っているデータが残存していたため、これについても貸与を受け、地区（町丁目）別のデータを取得することができた。

貸与された集計テープは、基本的に件数ベースの集計と、延べ床面積ベースの集計が行われており、建築年次については、延べ床面積ベースの集計しか行われていない。

① 建物用途別・構造別総ストック数

応急危険度判定の対象である、共同住宅に係る用途としては、「長屋」、「木賃」、「マン

ション」の分類項目がある。構造は、「木造（以下Wと略）」、「軽量鉄骨造（以下LGと略）」、「ブロック造・コンクリートブロック造（以下B・CBと略）」、「SRC・RC・S」の分類がなされている。これについては、件数ベースでの集計があり、以下のようになっている。

	長屋	木賃	マンション
W	36,065	11,388	0
LG	281	1,197	0
B・CB	12	111	0
SRC/RC/S	487	0	96,830

マンションの登録件数が多いのは、分譲マンションの場合、課税単位として区分所有者単位での登録が行われているためであり、建物棟数よりはるかに大きな数値となっている。

面積ベースでは、以下のようになっている(単位1000平米)。

	長屋	木賃	マンション
W	2,240	1,180	0
LG	21	238	0
B・CB	0	17	0
SRC/RC/S	40	0	11,684

長屋は大半が木造、一方マンションは全てSRC/RC/Sで、木賃は一部LGのストックがあることがわかる。

② 建築年次別・用途別の面積集計は、以下のようになる。(単位1000平米)

(建築年次)	長屋	木賃	マンション
昭和20年まで	539	14	0
昭和21～25年	683	23	1
26～30	115	75	44
30～35	284	203	173
36～40	297	603	353
41～45	120	550	1,410
46～50	78	274	2,620
51～55	57	90	1,530
56～60	27	49	2,360
61～平成2年	15	156	3,190

この地域においては、大半が木造である長屋は、戦前から戦後の間もない時期のストックが多く、木賃は一般の木造住宅等と同様に高度成長期のストックが団塊を形成しているが、バブ

ル期におそらく非木造の比率を高めつつ新たなストックを形成し、マンションは40年代後半にピークを形成し、またバブル期に再びより高いピークを形成している。

ちなみに、平成5年度版の建築統計年報によると、神戸市における分譲住宅年間フローは延べ床面積で545,998平米となっており、上記の最後の期間に形成されたストック約3.19百万平米を5で除した年間平均638千平米に近い水準となっている。

上記と同様の構成の集計が、町丁目単位で行われており、より細かく見た地区別のストック把握が可能であり、今後の分析のベースとなる。

区別に、建物の種類別に見た建築年次分布（5年刻み集計）を図2.2.2.7～16に示す。とりわけ長田区・兵庫区等の被害の大きかった地域に戦前の長屋のストックが多かったことが確認できる。

b) その他の市のストック状況について

芦屋市及び西宮市を除く兵庫県下の罹災各市及び淡路島の市町の内の一部については、現在までに既に個票データの提供を受け、以下の項目について知ることができる。それ以外についても、依頼中である。

- ・所在地・都市計画区分（コード化されている）
- ・建物用途（独立住宅・集合住宅・兼用集合住宅等）
- ・建物主体構造（木造・鉄骨鉄筋・鉄筋・鉄骨及び軽量鉄骨・組石造）
- ・建築年次
- ・1階及び延床面積
- ・建物地上階数

応急危険度判定の対象となった共同住宅を抽出し、建物構造別に、登録年次別登録件数を集計したものを、図2.2.2.17～31に示す。

なお、棟数については、マンションで賃貸の物件は元来1棟が1件として扱われ、一方分譲マンションについては、鉄筋コンクリート造または鉄骨造の平屋もしくは一階面積と延床面積が一致した5階建て等の建物として登録されているため、RCおよび鉄骨造については、集計件数は戸数と棟数の中間を示す集計値となっている。これらの登録状況に基づいて棟数を推定する方法を現在検討中である。

(4) 建築年次別の罹災率の検討

集合住宅のうち、分譲マンションについては、応急危険度判定結果と市街地建築課で保有しているデータベースに竣工年次が記載されていることから、これとの照合を行い、判明するもののみについて、建築年次別の罹災率（建築物の総棟数に占める要注意、危険の率）を集計したものを図2.2.2.32～33に示す。

基準法改正の影響の有無が問われる所であるが、鉄筋コンクリート造について見ると、実際には昭和50年の前後での罹災率の変化が大きい。総じて古いストック程、また建設ラッシュの時期の物件程、罹災率が高い傾向が見られる(図2.2.2.32)。基準法改正の前後5年のみで見ると、「危険」が減少しているが、「要注意」が増加している(図2.2.2.33)。

鉄骨造については、分譲マンションとしては高層の大規模物件に限られるため、件数が少なく、個別事例の被害状況による分布の偏りが大きいため、現在までに照合できた物件のデータだけから結論を引き出すには不十分であると思われる。

木造については、16.4%ではあるが建築年度が記入されている。やや信頼性の低い年次ではあるが、これに基づいて建築年度別の被災率を集計したものを図2.2.2.34に示す。

神戸市共同住宅年次別種類別延床面積ストック

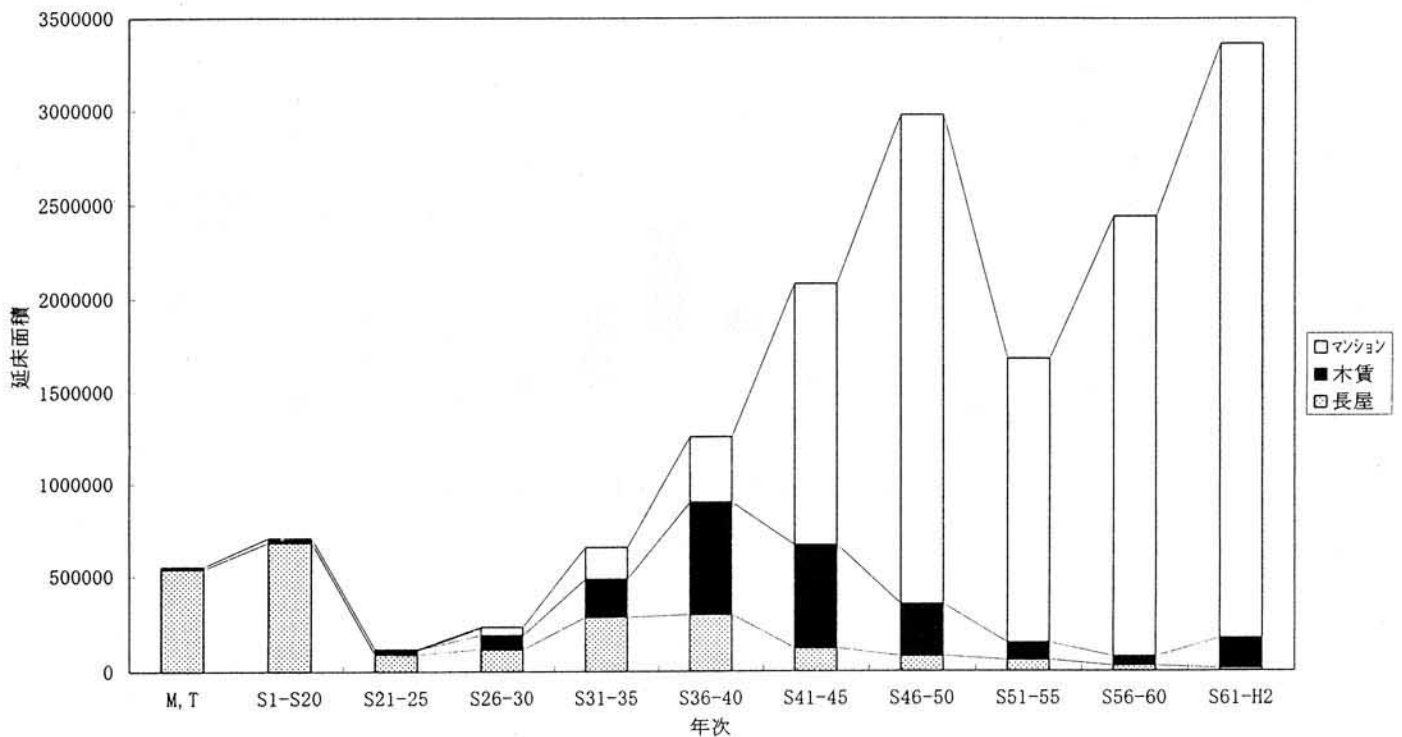


図2.2.2.7 神戸市共同住宅年次別延床面積ストック

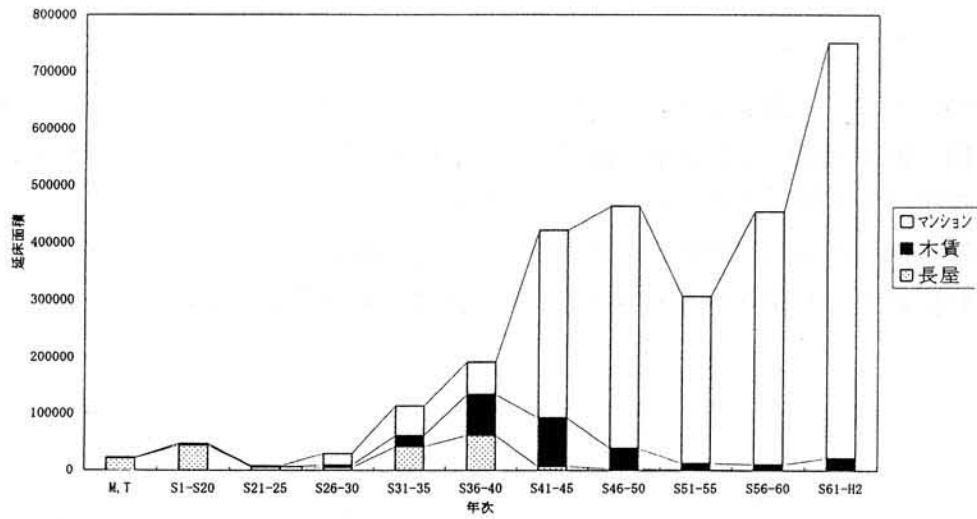


図2. 2. 2. 8 東灘区共同住宅年次別延床面積ストック

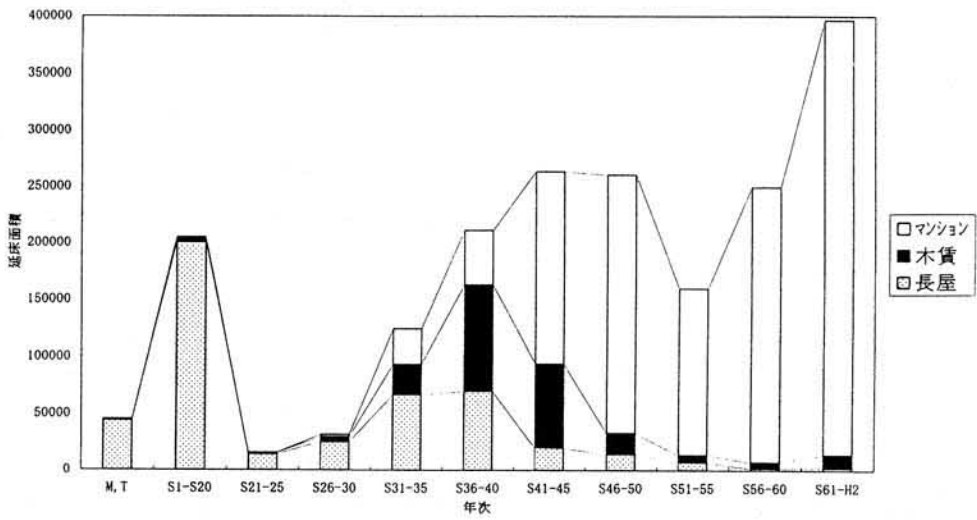


図2. 2. 2. 9 灘区共同住宅年次別延床面積ストック

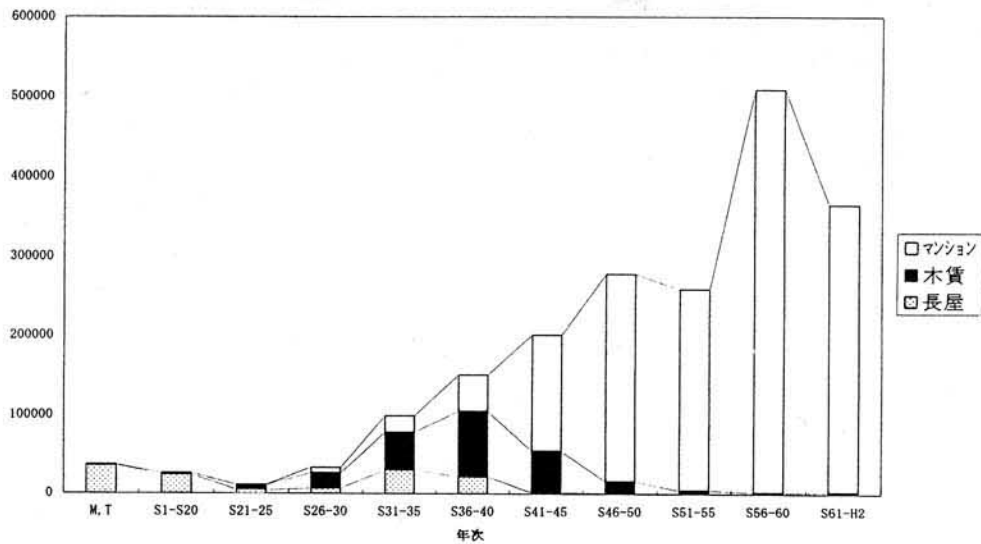


図2. 2. 2. 10 中央区共同住宅年次別延床面積ストック

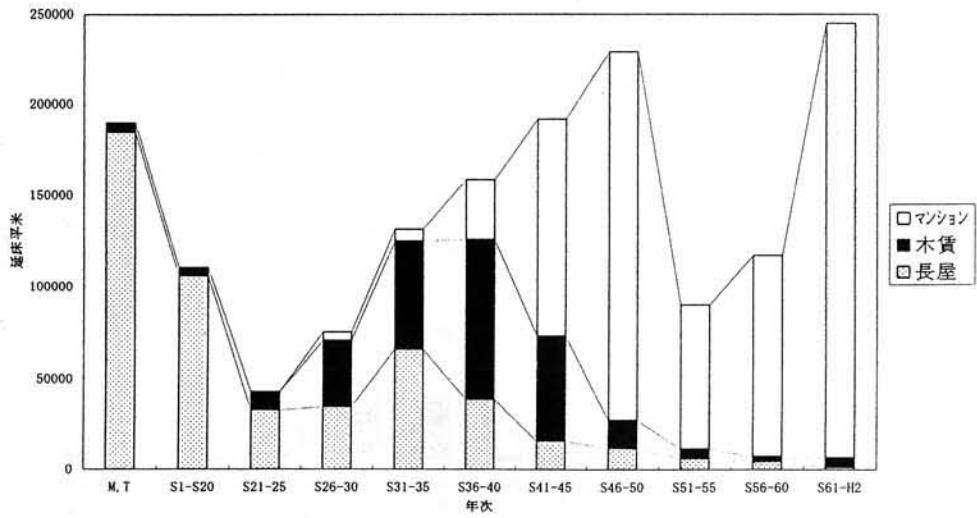


図2. 2. 2. 11 兵庫区共同住宅年次別延床面積ストック

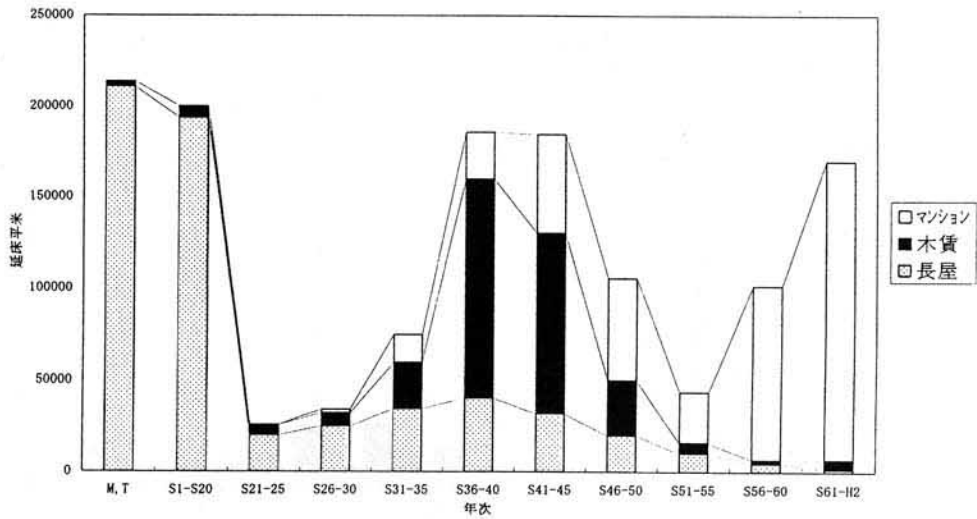


図2. 2. 2. 12 長田区共同住宅年次別延床面積ストック

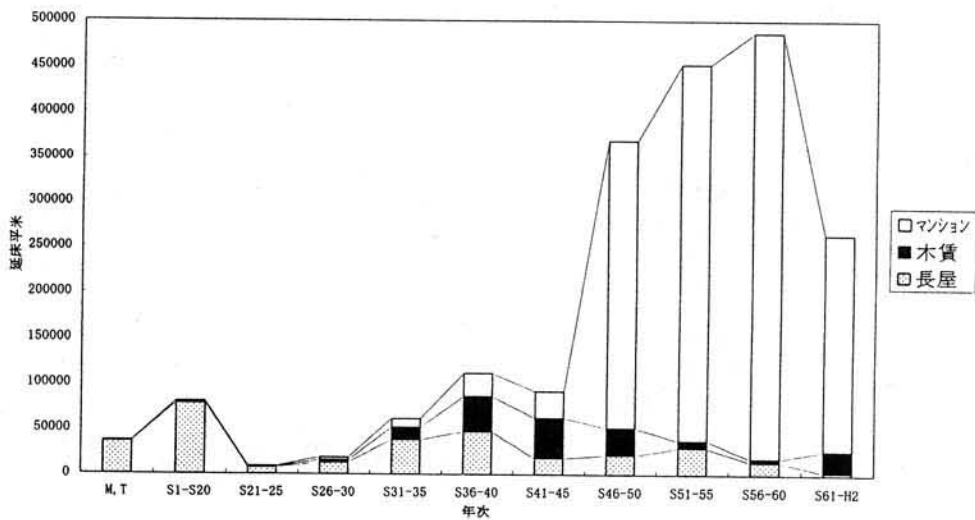


図2. 2. 2. 13 須磨区共同住宅年次別延床面積ストック

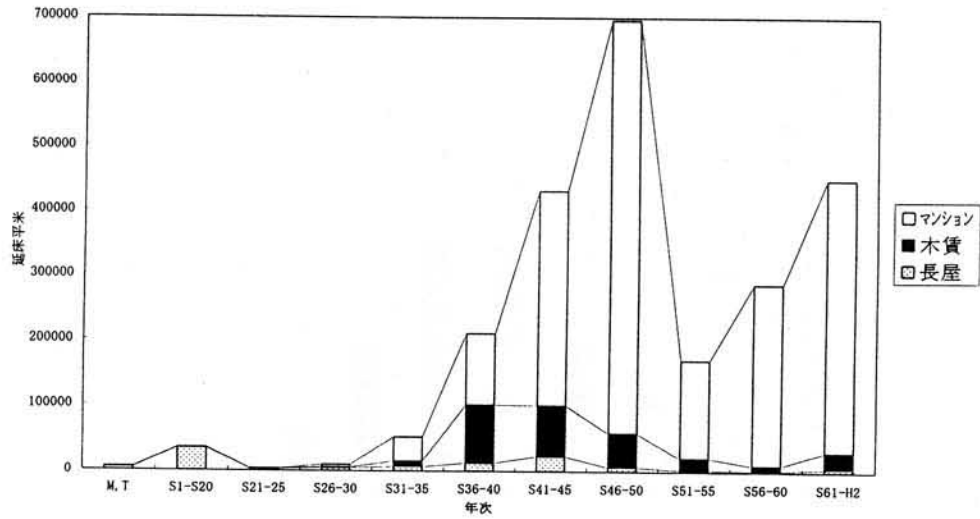


図2. 2. 2. 14 垂水区共同住宅年次別延床面積ストック

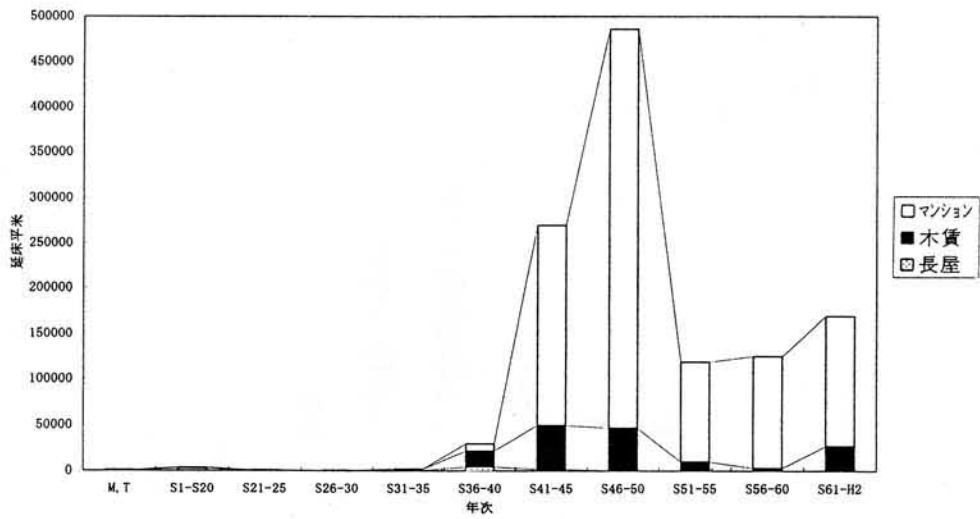


図2. 2. 2. 15 北区共同住宅年次別延床面積ストック

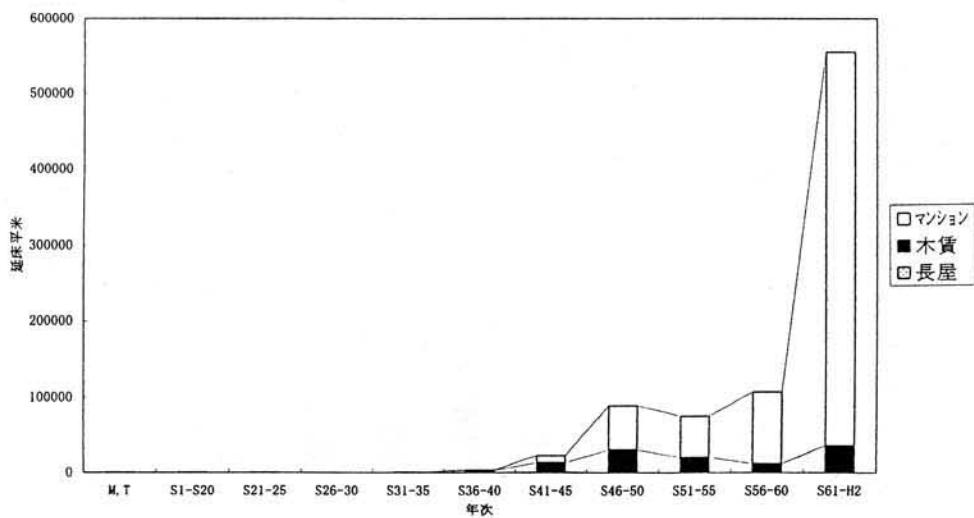


図2. 2. 2. 16 西区共同住宅年次別延床面積ストック

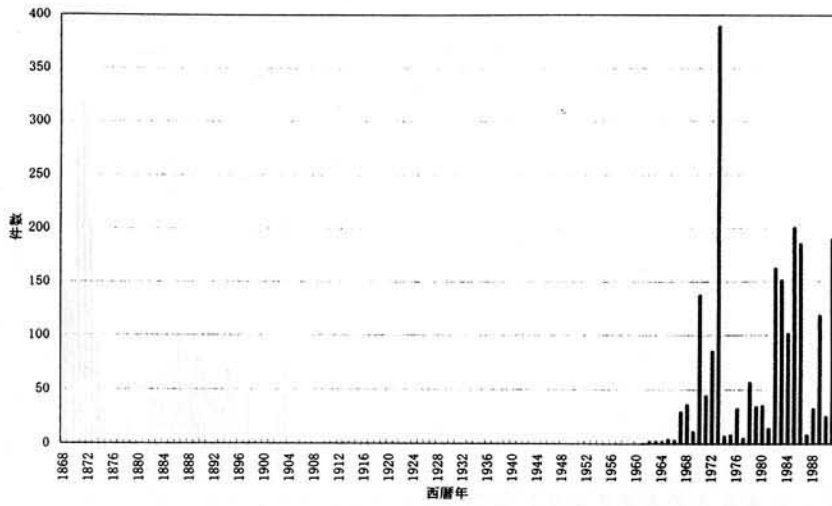


図2. 2. 2. 17 川西市RC造共同住宅 年次別登録件数

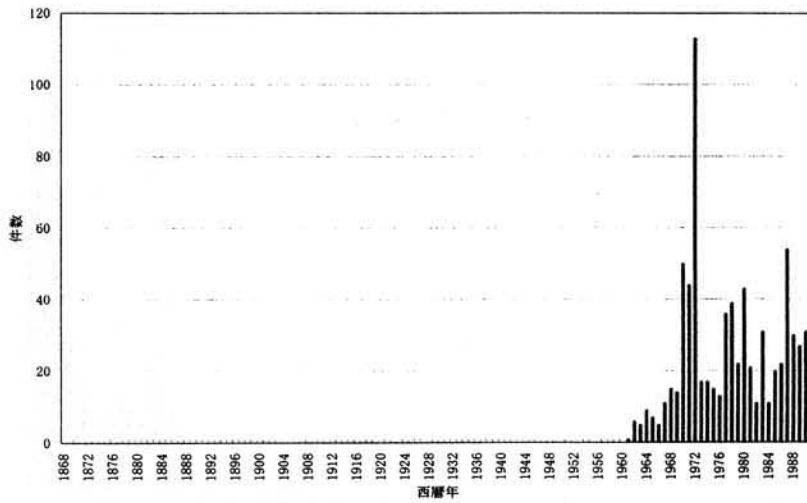


図2. 2. 2. 18 川西市鉄骨造共同住宅 年次別登録件数

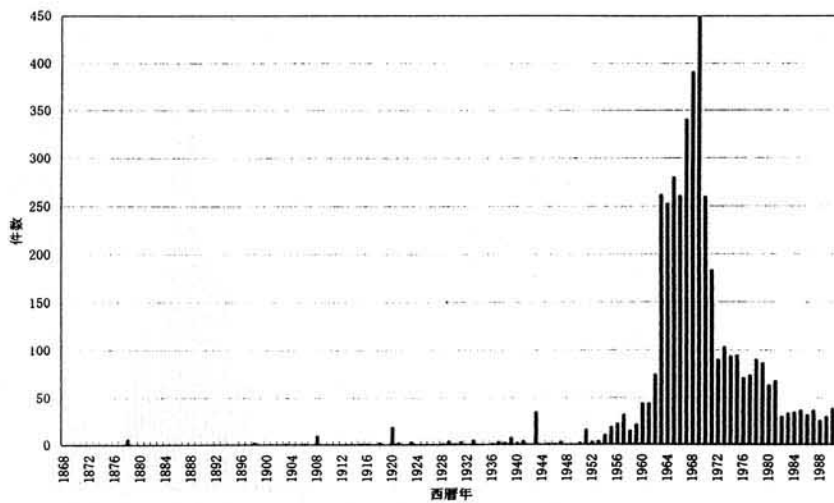


図2. 2. 2. 19 川西市木造共同住宅 年次別登録件数

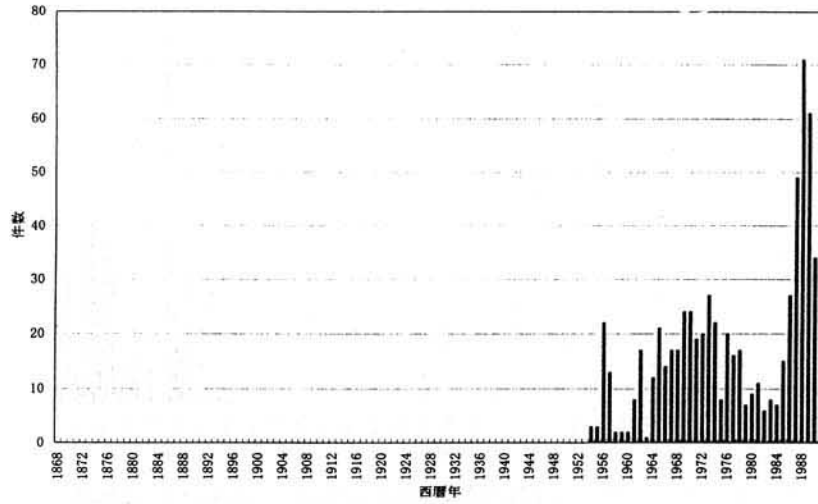


図2. 2. 2. 20 伊丹市RC造共同住宅 年次別登録件数

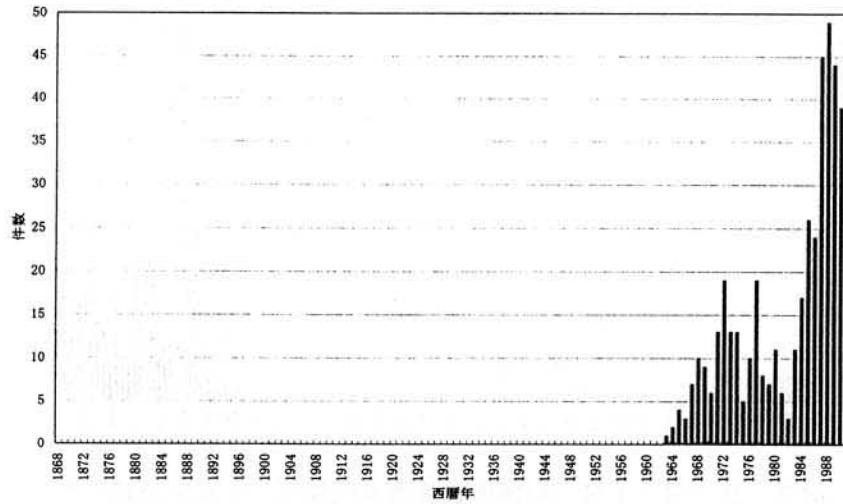


図2. 2. 2. 21 伊丹鉄骨造共同住宅 年次別登録件数

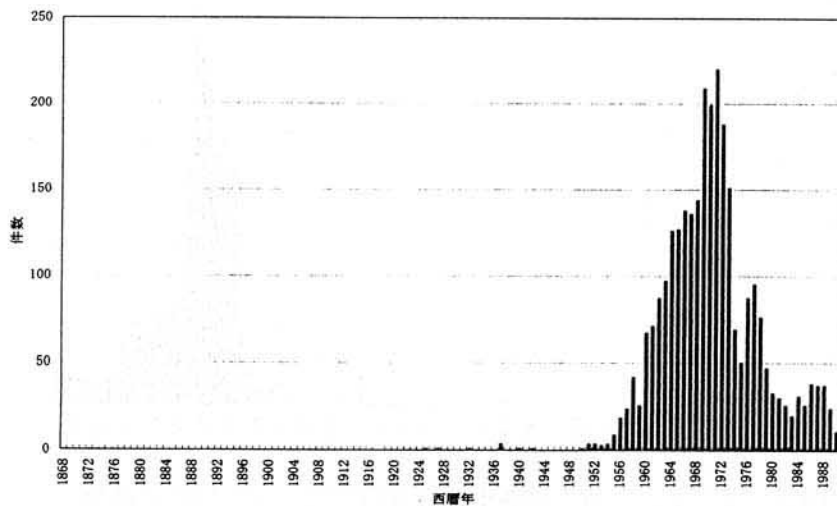


図2. 2. 2. 22 伊丹木造共同住宅 年次別登録件数

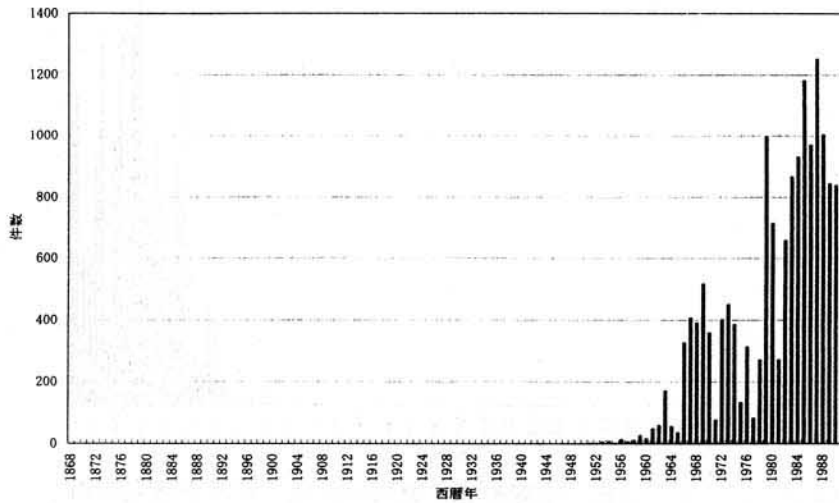


図2. 2. 2. 23 尼崎市RC造共同住宅 年次別登録件数

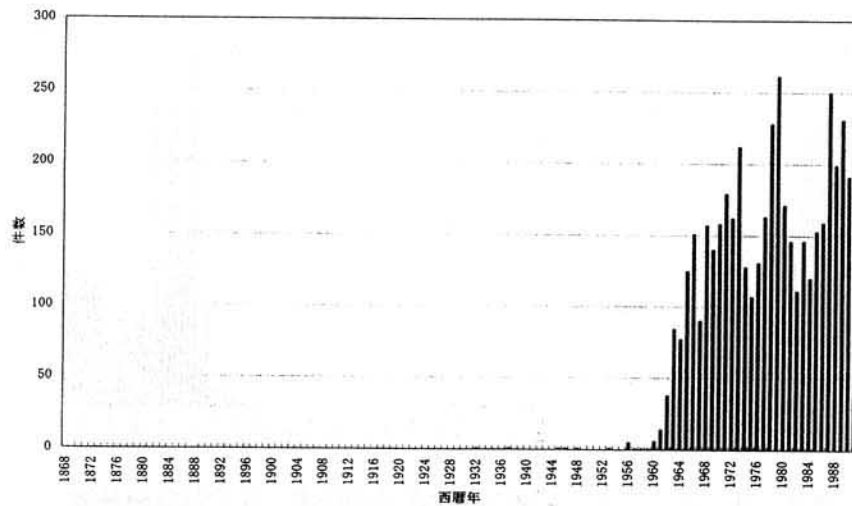


図2. 2. 2. 24 尼崎市鉄骨造共同住宅 年次別登録件数

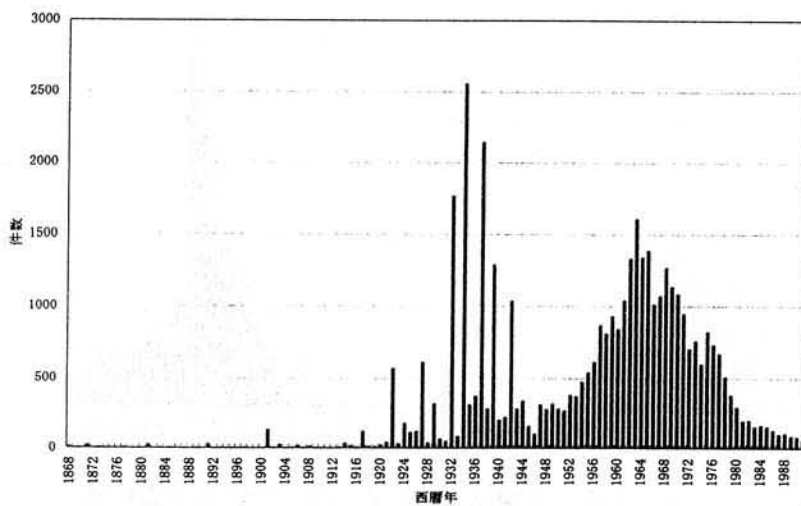


図2. 2. 2. 25 尼崎市木造共同住宅 年次別登録件数

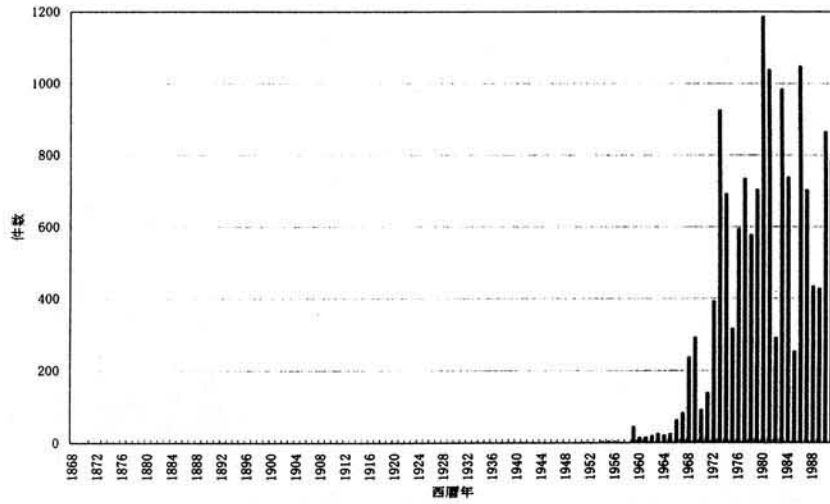


図2. 2. 2. 26 宝塚市RC造共同住宅 年次別登録件数

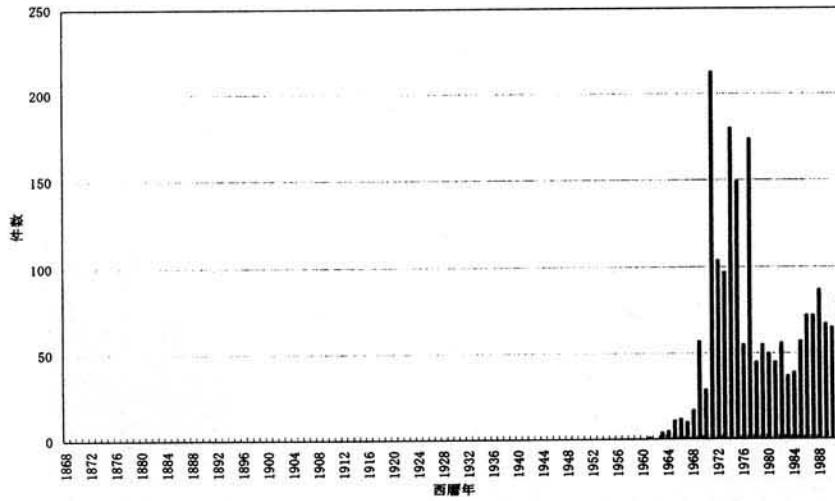


図2. 2. 2. 27 宝塚市鉄骨造共同住宅 年次別登録件数

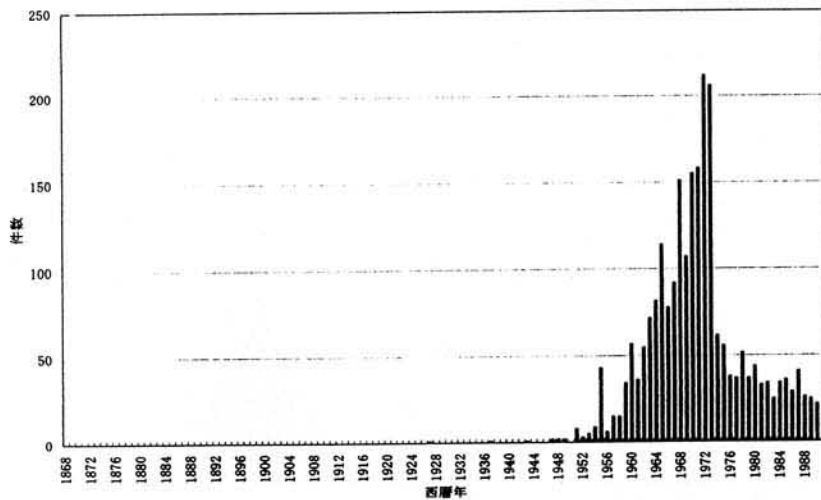


図2. 2. 2. 28 宝塚市木造共同住宅 年次別登録件数

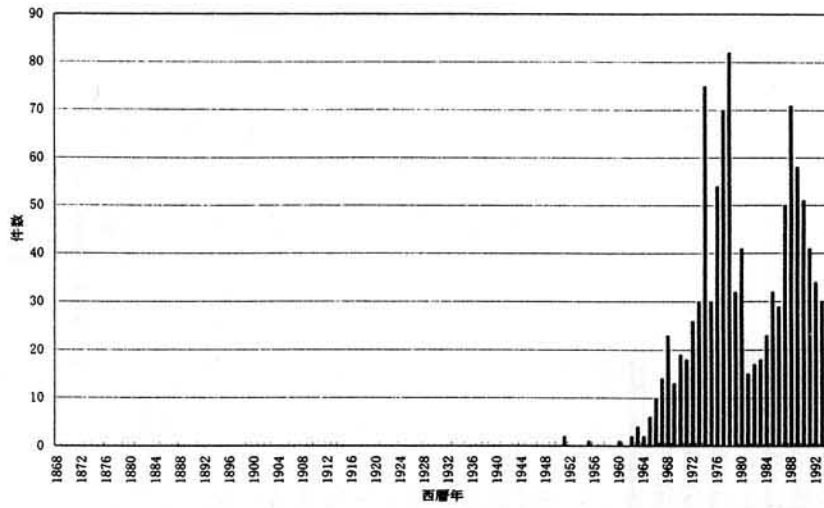


図2. 2. 2. 29 明石市RC造共同住宅 年次別登録件数

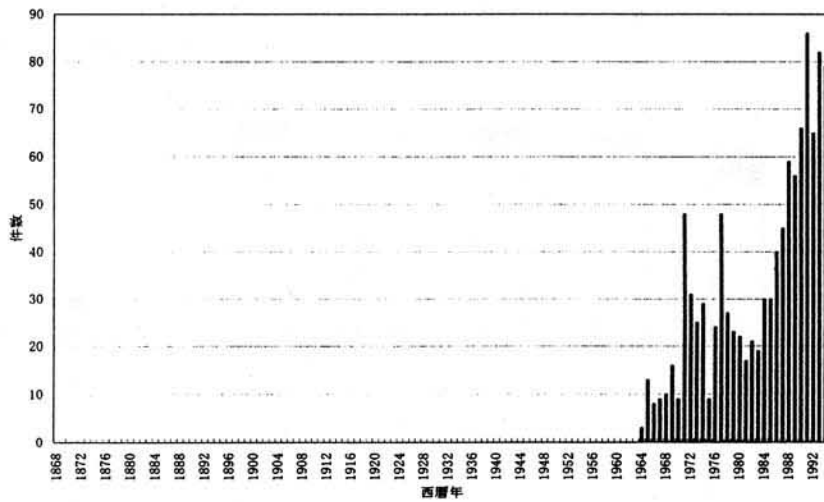


図2. 2. 2. 30 明石市鉄骨造共同住宅 年次別登録件数

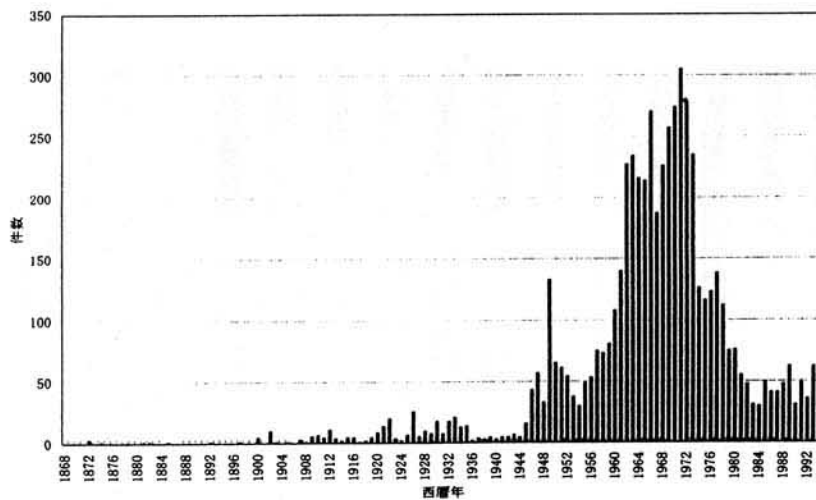


図2. 2. 2. 31 明石市木造共同住宅 年次別登録件数

RCマンション竣工年別件数・罹災率

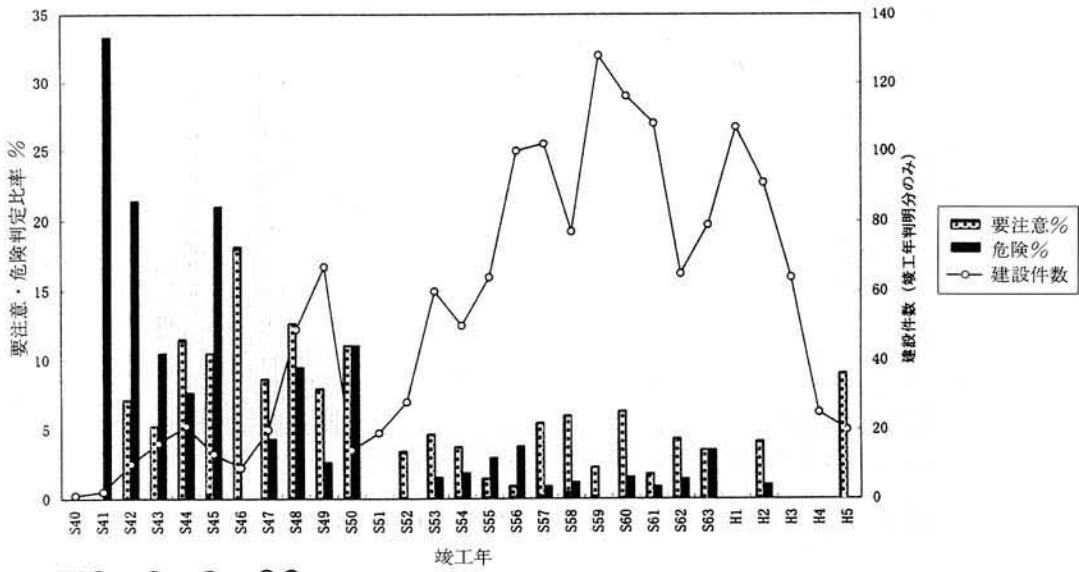


図 2. 2. 2. 32

RC造分譲住宅竣工年次別判定結果比率

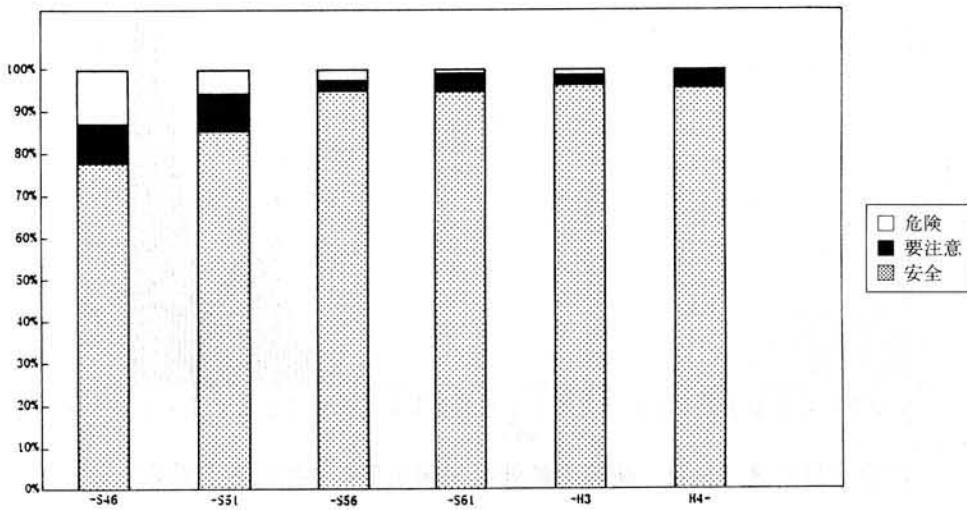


図 2. 2. 2. 33

木造共同住宅建築年別判定結果構成比

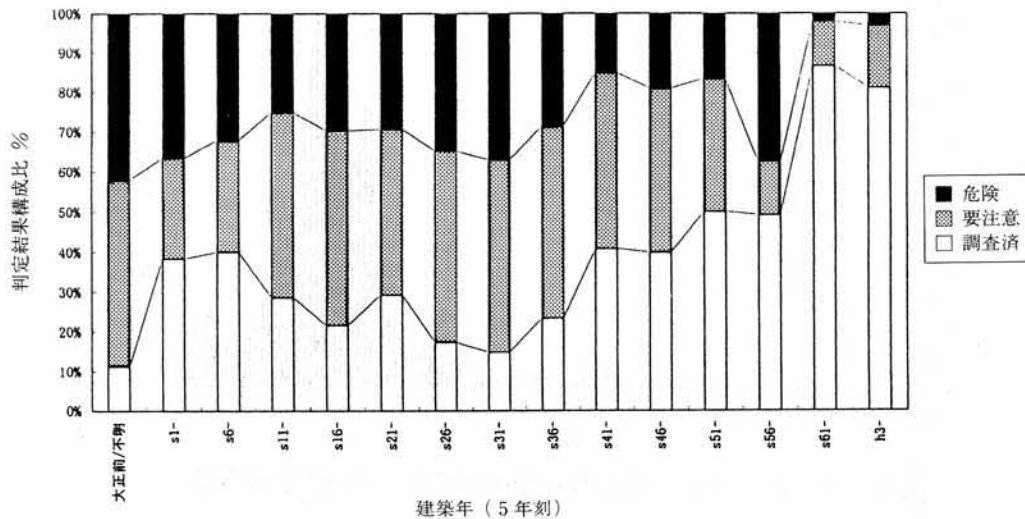


図 2. 2. 2. 34

2. 2. 3 日本建築学会兵庫県南部地震被害調査WGによる調査結果のマクロ分析

日本建築学会兵庫県南部地震被害調査WGによる調査は、神戸市全域及び芦屋市、西宮市の一部を対象に行われたものであるが、悉皆調査に近い形で実施され、また、その位置が地図上で特定されている中央区の建物を対象に、各調査項目に該当する建築物棟数及びそのクロス集計を報告する。

(1) 日本建築学会兵庫県南部地震被害調査WGによる調査の概要

日本建築学会兵庫県南部地震被害調査WGによる調査は、同学会近畿支部の会員が中心となって、2月上旬に行われた。本分析では、日本建築学会から提供された建築物についてのデータを建築震災調査委員会緊急調査の調査項目に読み替えてまとめた。調査項目は、用途、構造、地上階数、被災度ランクである。

(2) 日本建築学会兵庫県南部地震被害調査WGによる調査の集計結果

a) 各選択肢別の調査建築物棟数

調査建築物棟数は、総計で9,321棟であり、各選択肢に該当する棟数を以下に示す。なお、本調査の用途は、建築震災調査委員会緊急調査の場合より詳しく分類されているので、「学校等」、「病院」、「庁舎」等を追加して集計した。

構造別では、木造等が最も多く3,953棟、以下RC造が2,276棟、S造が1,271棟、SRC造が119棟等である。地上階数は、2階が最も多く2,935棟であり、次いで3階が1,045棟、4階が839棟、5階が416棟となり、調査対象が広範囲に及んでいる。被災度ランク別では、倒壊又は崩壊が458棟、大破が605棟であり、この2つのランクで全体の約16%である。また、全焼は6棟であった。

b) 調査項目別のクロス集計結果

調査建築物について、調査項目のうち適当なもの2つを選んでクロス集計を行った。以下にその結果を表2.2.3.1~3に示し、縦軸を棟数とした3次元棒グラフを各表の下又は右に添付している。また、推定建築年及び被災度ランクについてのクロス集計では、各選択肢ごとの総数に対する割合を縦軸にした棒グラフを表の下に添付した。

① 用途と構造について (表2.2.3.1)

各構造で、概ね住宅が多かった。

② 地上階数と構造について (表2.2.3.2)

最も棟数の多かったのは、鉄筋コンクリート造で4階、SRC造で9階、S造で3階、木造等で2階、複合構造で9階であった。

③ 被災度ランク (構造) と構造について (表2.2.3.3)

構造にかかわらず、著しい被害が生じた。

④ 被災度ランク (構造) と用途について (表2.2.3.4)

用途にかかわらず、著しい被害が生じた。

表2.2.3.1 用途と構造のクロス集計

(単位：棟)

用途															不明	総計
構造	ホテル	事務所	住宅	店舗	工場	倉庫	学校等	病院	庁舎	駐車場	会館・ホール	その他	複合	不明	総計	
RC	26	619	719	356	23	11	54	32	22	5	5	42	77	285	2276	
SRC	4	53	23	11	0	0	3	1	3	3	0	1	4	13	119	
S	3	262	280	386	32	14	6	9	3	44	1	24	41	166	1271	
木造等	8	106	3136	462	7	17	3	15	4	10	0	34	105	46	3953	
複合構造	3	19	18	1	0	0	2	0	4	0	0	2	2	4	55	
不明	7	204	696	406	6	23	6	21	1	10	0	46	83	138	1647	
総計	51	1263	4872	1622	68	65	74	78	37	72	6	149	312	652	9321	

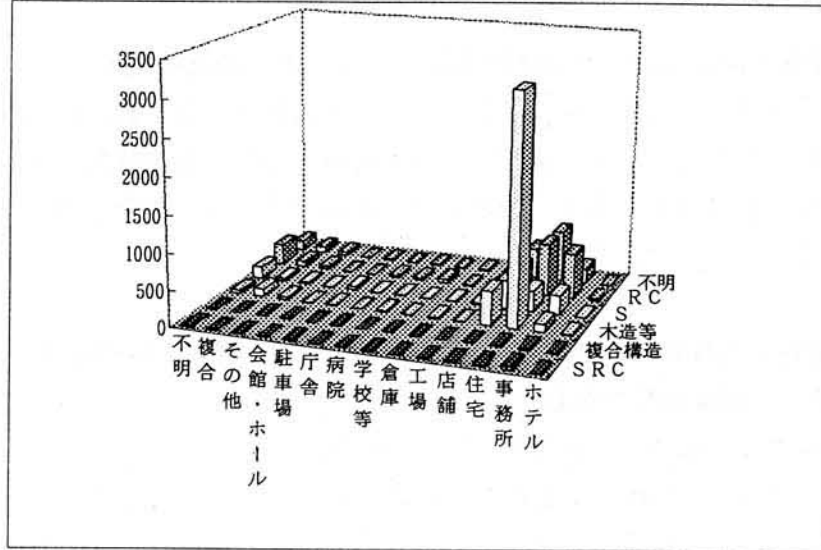


表2.2.3.2 地上階数と構造のクロス集計

(単位：棟)

地上階数													不明	総計
構造	1階	2階	3階	4階	5階	6階	7階	8階	9階	10階	11~30階	不明	総計	
RC	22	156	510	565	299	168	111	96	41	31	36	241	2276	
SRC	0	0	0	0	2	4	9	24	29	16	34	1	119	
S	46	232	461	244	92	35	22	22	13	7	6	91	1271	
木造等	166	2499	26	2	1	0	0	0	0	0	0	1259	3953	
複合構造	0	0	2	1	1	0	1	4	11	5	12	18	55	
不明	1	48	46	27	21	5	7	7	2	1	0	1482	1647	
総計	235	2935	1045	839	416	212	150	153	96	60	88	3092	9321	

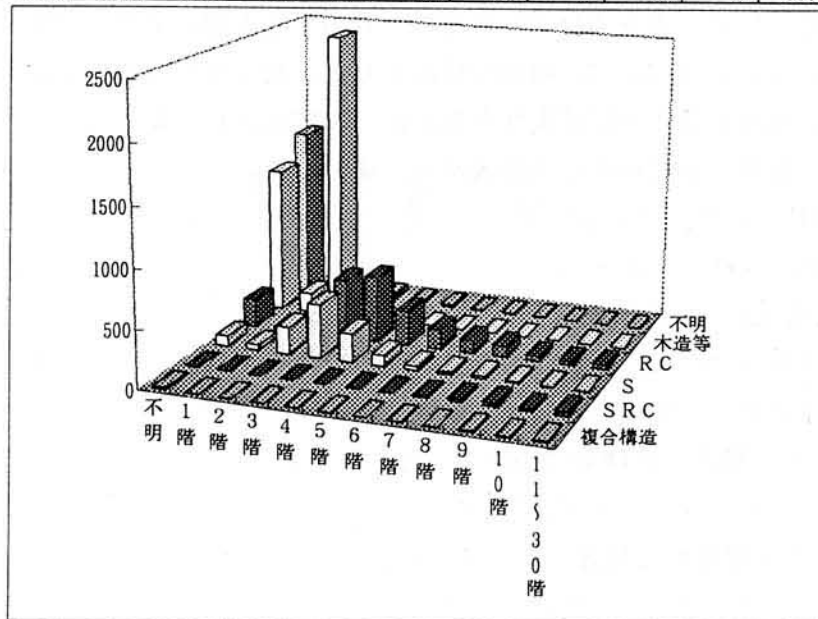


表2.2.3.3 被災度ランク（構造）と構造のクロス集計
 (単位：棟)

被災度ランク (構造)	構造						総計
	R C	S R C	S	木造等	複合構造	不明	
倒壊又は崩壊	63	12	55	261	0	67	458
大破	102	15	92	383	6	7	605
中破	149	13	166	686	8	56	1078
小破以下	1949	79	952	2605	41	1264	6890
不明	13	0	6	18	0	253	290
総計	2276	119	1271	3953	55	1647	9321

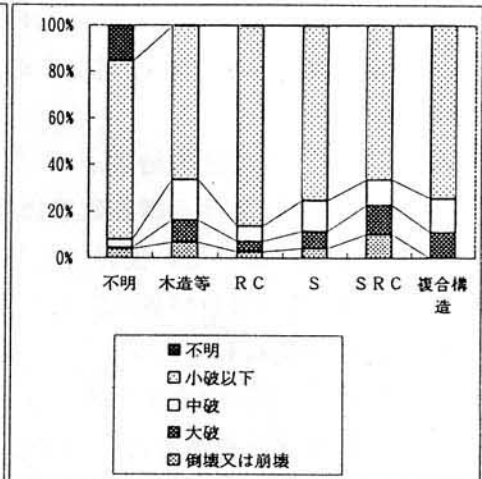
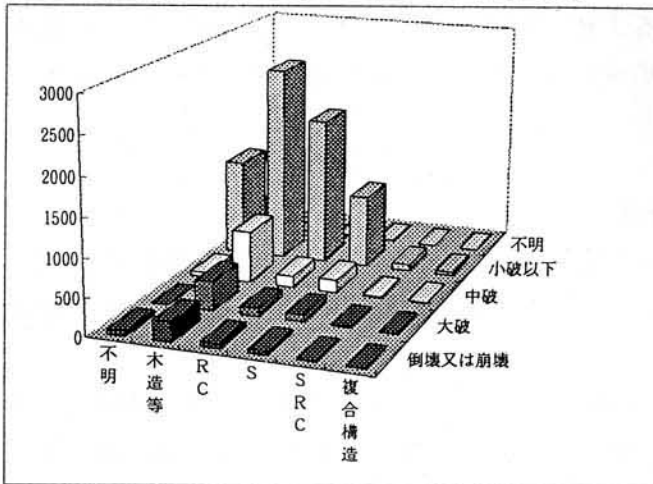
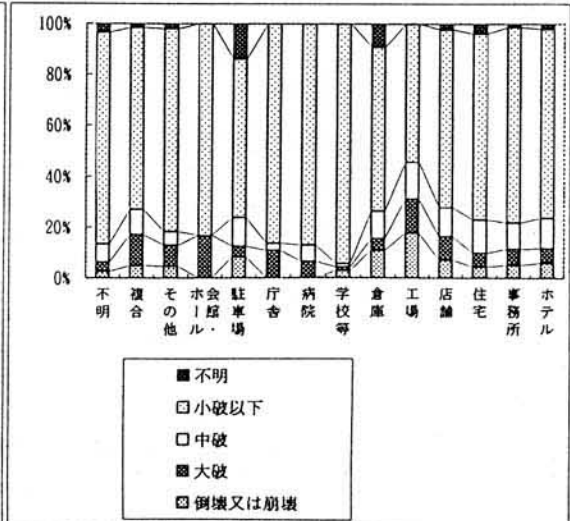
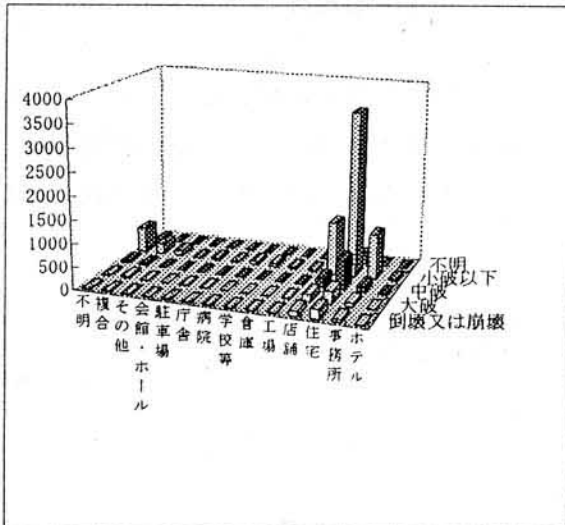


表2.2.3.4 被災度ランク（構造）と用途のクロス集計
 (単位：棟)

被災度ランク (構造)	用途														総計
	ホテル	事務所	住宅	店舗	工場	倉庫	学校等	病院	庁舎	駐車場	会館・ホール	その他	複合	不明	
倒壊又は崩壊	3	64	208	117	12	7	2	0	0	6	0	7	15	17	458
大破	3	82	274	147	9	3	1	5	4	3	1	12	38	23	605
中破	6	128	641	185	10	7	1	5	1	8	0	8	31	47	1078
小破以下	38	972	3563	1134	37	42	70	68	32	45	5	119	223	542	6890
不明	1	17	186	39	0	6	0	0	0	10	0	3	5	23	290
総計	51	1263	4872	1622	68	65	74	78	37	72	6	149	312	652	9321



2. 2. 4 中央区の特定の地域を対象とした悉皆調査の分析

神戸市中央区における建築物の被害状況については、日本建築学会兵庫県南部地震被害調査WGにより悉皆調査に近い形で実施されているが、ここでは、当該調査結果に基づき、中央区においても、特に大小の建築物が密集しかつ地震被害が大きかった地域に的を絞り、建築物の建築年及び用途と被害状況との関係をそれぞれ報告することにする。

なお、建築年については、同WGによる調査では不明なため、別途、神戸市の固定資産台帳により調査したものである。

(1) 調査地域の特定

調査地域は、神戸市中央区におけるJR三宮駅近辺及び主に木造建築物により構成される住宅・商業地域であり、ほぼ震度7の地域に該当する。当該地域を図2.2.4.1に示す。

(2) 悉皆調査の分析結果

a) 調査地域における調査建築物棟数

本調査地域において、被害状況が調査されかつ建築年が特定された建築物は、総計923棟である。表2.2.4.1及び表2.2.4.2に、これらの建築物の建築年及び構造種別を中央区全体の建築物のものと比較して示す。

表2.2.4.1より、中央区全体では、木造建築物については、昭和56年以前のものが多いが、非木造の建築物については、昭和57年以降のものも全体の45%を占めている。一方、調査建築物において、木造建築物については、建築年次と棟数との関係は中央区全体と同様であるが、非木造の建築物については、昭和57年以降の建築物の占める割合は27%と中央区全体よりも小さくなっている。

構造種別については、表2.2.4.2より、中央区全体では、木造の占める割合が33%と最も大きく、鉄骨鉄筋コンクリート造の占める割合が28%と二番目に大きい。調査建築物においては、木造が占める割合が46%と中央区全体におけるよりもさらに大きく、逆に、鉄骨鉄筋コンクリート造の占める割合は8%と中央区全体におけるよりも小さくなっている。鉄骨造及び鉄筋コンクリート造については、これらの占める割合は中央区全体と調査地域でほぼ同様のものとなっている。

以上から、調査地域での調査建築物の内訳は、中央区全体と比較すると、非木造建築物について昭和56年以前の建築物が占める割合が大きく、構造種別については、鉄骨造及び鉄筋コンクリート造についてはほぼ同様であるが、木造の占める割合が大きく、逆に鉄骨鉄筋コンクリート造の占める割合が小さくなっている。

表2.2.4.1 建築年次別棟数

(単位：棟)

建築年	木造		非木造	
	昭和56年以前	昭和57年以降	昭和56年以前	昭和57年以降
中央区全体	16,217 (94%)	1,007 (6%)	16,989 (55%)	14,126 (45%)
調査地域	408 (97%)	13 (3%)	365 (73%)	137 (27%)

神戸市中央区震災調査地域



図 2. 2. 4. 1 神戸市中央区震災調査地域図

表2.2.4.2 構造別建築物棟数

(単位：棟)

構造種別	中央区全体	調査地域
木造	15,012 (33%)	421 (46%)
鉄骨造	6,695 (15%)	188 (20%)
鉄筋コンクリート造	10,227 (23%)	232 (25%)
鉄骨鉄筋コンクリート造	12,825 (28%)	76 (8%)
その他(組積造等)	574 (1%)	6 (1%)

b) 調査項目別のクロス集計結果

① 建築年と被害状況との関係(表2.2.4.3~7)

表2.2.4.3~7に、建築物の被害状況と建築年との関係を示す。建築年は、新耐震基準が改正施行(昭和55年改正、昭和56年6月施行)された翌年の昭和57年において区分し、さらに、帯筋の規定が改正施行(昭和45年改正、昭和46年1月施行)された翌年の昭和47年で区分している。(木造及び鉄骨造については昭和57年での区分のみ。)

表2.2.4.3は、調査建築物全体の建築年と被害状況との関係を示したものである。本調査地域では、昭和46年以前に建築された建築物については、3割を超える建築物が倒壊又は崩壊、大破という甚大な被害を受けているが、昭和57以降に建築された建築物については1割未満に減少している。

表2.2.4.3 建築年と被害状況のクロス集計(建築物全体)

(単位：棟)

	昭和46年以前	昭和47~56年	昭和57年以降
倒壊又は崩壊	95 (17%)	10 (5%)	5 (3%)
大破	102 (18%)	14 (7%)	8 (5%)
中破	129 (23%)	22 (11%)	8 (5%)
小破	95 (17%)	42 (20%)	17 (11%)
軽微	102 (18%)	66 (32%)	58 (39%)
無被害	45 (8%)	51 (25%)	54 (36%)
総計	568 (100%)	205 (100%)	150 (100%)

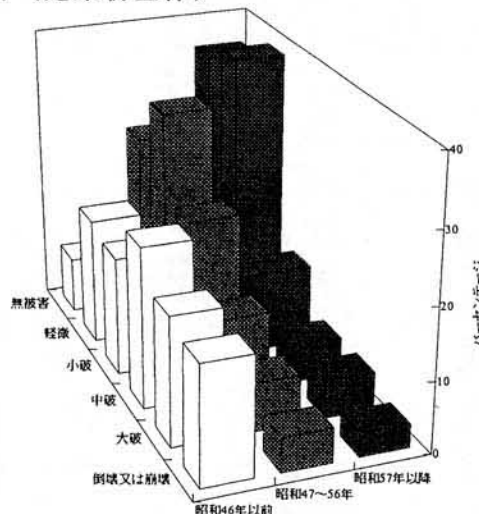


表2.2.4.4~7をもとに、構造種別毎の被害状況を以下に述べる。

[木造建築物]

昭和46年以前に建築された建築物については、中破が25%と最も多く、倒壊あるいは大破も、それぞれ、19%あるいは20%に達している。

一方、昭和57年以降に建築されたものについては、無被害が、46%と最も多くなり、逆に、倒壊又は崩壊(1棟、8%)、大破(0棟、0%)が減少している。

[鉄骨造建築物]

昭和56年以前に建築された建築物については、中破が23%と最も多いが、倒壊又は崩壊あるいは大破も、それぞれ8%あるいは10%に達し、昭和57年以降における建築物と比較すると、全体に占めるこれらの割合は大きくなっている。

また、昭和57年以降に建築されたものについては、軽微と無被害を合わせると、これらの割合は77%と全体の8割近くを占めている。

[鉄筋コンクリート造建築物]

昭和46年以前に建築された建築物については小破が40%と最も多いが、倒壊又は崩壊あるいは大破も、それぞれ11%あるいは22%に達し、他の年次区分における建築物と比較すると、全体に占めるこれらの割合は大きくなっている。

昭和47年～56年に建築された建築物については、倒壊又は崩壊あるいは大破は、合わせて5%に減少している。昭和47年～56年に建築された建築物と昭和57年以降に建築された建築物とでは、被害状況の内訳はほとんど同じである。

[鉄骨鉄筋コンクリート造建築物]

昭和46年以前に建築された建築物について、倒壊又は崩壊あるいは大破が、それぞれ11%あるいは22%に達しており、これらの全体に占める割合は、鉄筋コンクリート造の場合と同様のものとなっている。

年次区分が新しくなるに伴い、倒壊又は崩壊及び大破の占める割合は小さくなり、昭和57年以降は、軽微が半数以上を占めている。鉄骨鉄筋コンクリート造の調査件数が少ないため、全体的な傾向を表しているかどうかは明らかではないが、この調査では、昭和57年以降に建築された建築物のうち大破あるいは倒壊又は崩壊の占める割合は鉄骨鉄筋コンクリート構造が最も大きくなっている。

表2.2.4.4 建築年と被害状況との関係（木造）

	(単位：棟)	
	昭和56年以前	昭和57年以降
倒壊又は崩壊	77 (19%)	1 (8%)
大破	81 (20%)	0 (0%)
中破	101 (25%)	2 (15%)
小破	65 (16%)	2 (15%)
軽微	59 (14%)	2 (15%)
無被害	25 (6%)	6 (46%)
総計	408 (100%)	13 (100%)

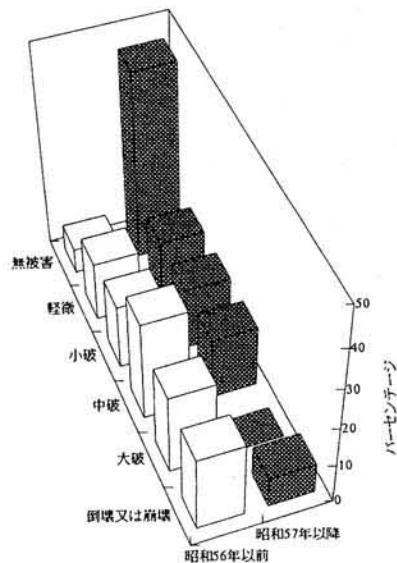


表2.2.4.5 建築年と被害状況との関係（鉄骨造）

(単位：棟)

	昭和56年以前	昭和57年以降
倒壊又は崩壊	10 (8%)	2 (3%)
大破	12 (10%)	3 (5%)
中破	28 (23%)	3 (5%)
小破	34 (27%)	7 (11%)
軽微	27 (22%)	24 (38%)
無被害	13 (10%)	25 (39%)
総計	124 (100%)	64 (100%)

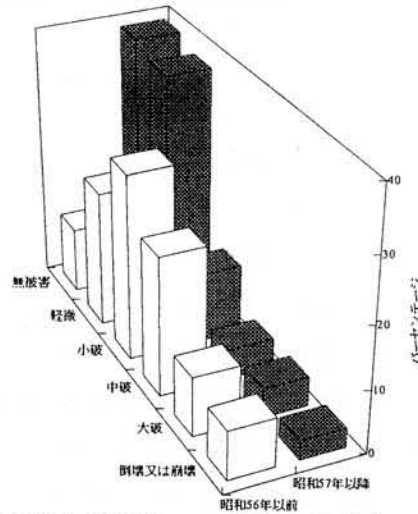


表2.2.4.6 建築年と被害状況との関係（鉄筋コンクリート造）

(単位：棟)

	昭和46年以前	昭和47～56年	昭和57年以降
倒壊又は崩壊	10 (11%)	3 (3%)	1 (2%)
大破	12 (13%)	2 (2%)	2 (4%)
中破	8 (9%)	4 (4%)	2 (4%)
小破	12 (13%)	12 (13%)	6 (13%)
軽微	37 (40%)	36 (38%)	17 (38%)
無被害	14 (15%)	37 (39%)	17 (38%)
総計	93 (100%)	94 (100%)	45 (100%)

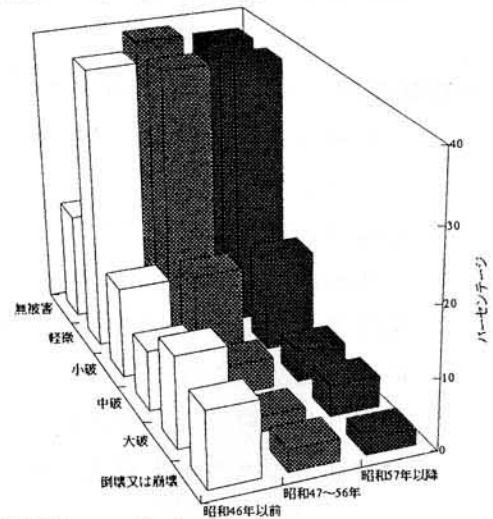
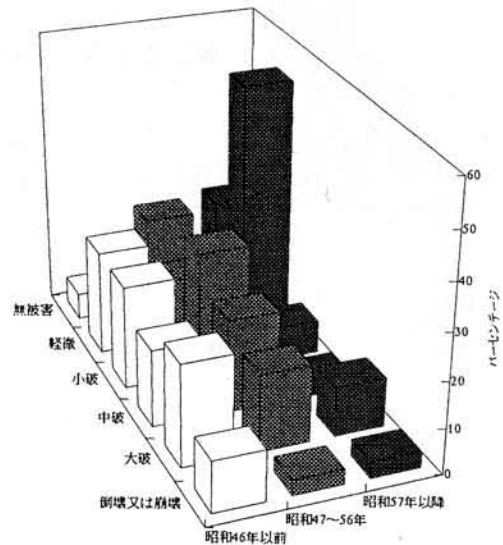


表2.2.4.7 建築年と被害状況との関係（鉄骨鉄筋コンクリート造）

(単位：棟)

	昭和46年以前	昭和47～56年	昭和57年以降
倒壊又は崩壊	2 (11%)	1 (3%)	1 (4%)
大破	4 (22%)	5 (17%)	3 (11%)
中破	3 (17%)	6 (20%)	1 (4%)
小破	4 (22%)	8 (27%)	2 (7%)
軽微	4 (22%)	4 (13%)	15 (54%)
無被害	1 (6%)	6 (20%)	6 (21%)
総計	18 (100%)	30 (100%)	28 (100%)



[まとめ]

建築物の建築年と被害状況との関係を、倒壊又は崩壊及び大破の占める割合に着目し、まとめる。

木造建築物については、昭和56年以前に建築されたものについては、倒壊又は崩壊及び大破は39%にも達している。これに対し、鉄骨造建築物は、18%、昭和46年以前に建築された鉄筋コンクリート造建築物は、14%と大体15%前後の数値を示し、昭和46年以前に建築された鉄骨鉄筋コンクリート造建築物は、33%にまで達している。

一方、昭和57年以降に建築された木造建築物及び鉄骨造建築物については、倒壊又は崩壊と大破合わせて8%にまで減少し、鉄筋コンクリート造建築物については、昭和47年～昭和56年に建築されたものについては5%に、昭和57年以降に建築されたものについては6%まで減少している。鉄骨鉄筋コンクリート造建築物については、昭和47年～昭和56年に建築されたものについては20%、昭和57年以降に建築されたものについては15%となっている。

昭和57年以降に建築された建築物については、鉄骨鉄筋コンクリート造建築物を除き、倒壊又は崩壊と大破合わせて1割未満に収束しているが、鉄骨鉄筋コンクリート造建築物については1割を超えている。ただし、鉄骨鉄筋コンクリート造について倒壊又は崩壊したもののみに着目すると、昭和47年～昭和56年に建築されたものについては1棟、3%、昭和57年以降に建築されたものについては1棟、4%と、鉄骨造建築物及び鉄筋コンクリート造建築物と同様な値となっている。

以上に示した調査では、昭和57年以降に建築された木造建築物及び鉄骨鉄筋コンクリート造建築物全般に関する調査件数が少なく、したがってこれらの耐震性を建築年との関係から論じるには、他の調査結果も参考にし、総合的に判断する必要があると考えられる。

② 用途と被害状況との関係

表2.2.4.8～10に建築物の用途と被害状況との関係を示す。表2.2.4.8は、調査建築物全体について用途と被害状況との関係を、表2.2.4.9及び表2.2.4.10は、昭和57年で建築年次を区分し、その前後における用途と被害状況との関係を示している。

調査建築物全体においては、事務所が9.5%、住宅が50.2%及び店舗が32.6%と、これら3項目で計92.3%を占めている。昭和56年以前においては、これら3項目の割合は、それぞれ調査建築物全体においてとほぼ同様であるが、昭和57年以降においては、住宅が40%に減少し、事務所は、17%とほぼ倍近くとなっている。店舗については、各年次区分を通しあまり変わりはない。

建築年と被害状況との関係を見ると、事務所に関しては、昭和56年以前に建築された建築物については、倒壊又は崩壊あるいは大破がそれぞれ、8.1%あるいは11.3%に達しており、昭和57年以降に建築されたものについては、倒壊又は崩壊が、3.8%に減少しているが、大破は11.5%とあまり変わりはない。

住宅に関しては、昭和56年以前に建築された建築物については、倒壊又は崩壊あるいは大破が、それぞれ15.8%あるいは19.8%に達しているが、昭和57年以降に建築されたものについては、倒壊又は崩壊が3.3%に、大破は1.6%まで減少している。

店舗に関しても、昭和56年以前に建築された建築物については、倒壊又は崩壊あるいは大破が、それぞれ13.0%あるいは9.4%に達しているが、昭和57年以降に建築されたものについては、倒壊又は崩壊が4.2%に、大破も4.2%まで減少している。

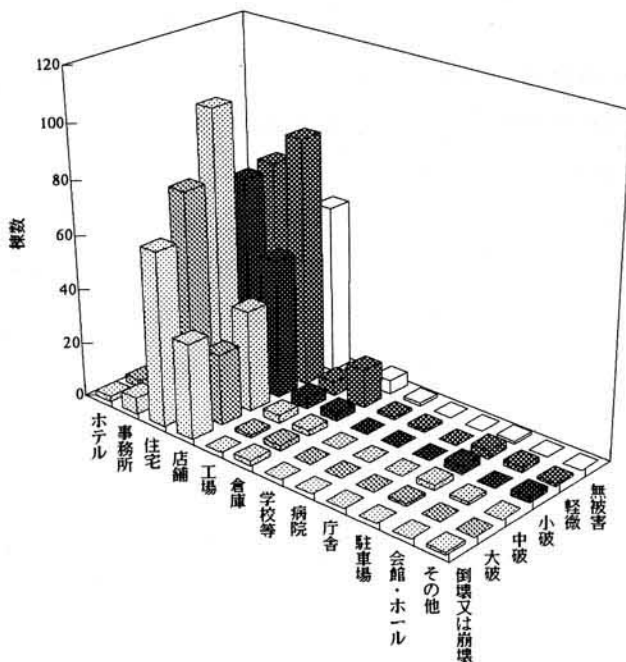
調査建築物の中には、震災後に防災拠点になると考えられる学校等、病院も含まれているが、これらはそれぞれ2棟及び1棟と数が少なく、また、いずれの被害状況も、軽微もしくは無被害であった。なお、庁舎は、調査建築物の中に含まれていない。また、不特定多数の人々が利用する会館・ホールについても3棟と少なく、これらの被害状況も中破よりは軽微なものであった。

今回の震災では、地震の発生時期が早朝であったことから、主に住宅の倒壊により人命に危害が生じたが、以上に示した用途毎の建築物の被害状況から、一般の勤務時間帯に地震が発生した場合には、事務所ビルや店舗等の被害によっても、多数の人命に危害が生じたものと考えられる。

表2.2.4.8 用途と被害状況との関係（全体）

（単位：棟）

被害度 ランク	用途																									
	ホテル (%)	事務所 (%)	住宅 (%)	店舗 (%)	工場 (%)	倉庫 (%)	学校等 (%)	病院 (%)	庁舎 (%)	駐車場 (%)	会館・ホール (%)	その他 (%)	ホテル (%)	事務所 (%)	住宅 (%)	店舗 (%)	工場 (%)	倉庫 (%)	学校等 (%)	病院 (%)	庁舎 (%)	駐車場 (%)	会館・ホール (%)	その他 (%)		
倒壊又は崩壊	2	28.6	6	6.8	64	13.8	35	11.6	0	0.0	2	7.1	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	1	25.0
大破	3	42.9	10	11.4	81	17.4	26	8.6	1	6.3	2	7.1	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	1	10.0	0	0.0
中破	0	0.0	9	10.2	106	22.8	37	12.3	3	18.8	2	7.1	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	2	20.0	1	33.3	0	0.0
小破	2	28.6	13	14.8	77	16.6	51	16.9	4	25.0	3	10.7	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	3	30.0	0	0.0	2	50.0
軽微	0	0.0	30	34.1	79	17.0	91	30.1	5	31.3	14	50.0	1	50.0	1	100.0	0	0.0	0	0.0	3	30.0	2	66.7	1	25.0
無被害	0	0.0	20	22.7	58	12.5	62	20.5	3	18.8	5	17.9	1	50.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	1	10.0	0	0.0	0	0.0
総計	7	100.0	88	100.0	465	100.0	302	100.0	16	100.0	28	100.0	2	100.0	1	100.0	0	0.0	0	0.0	10	100.0	3	100.0	4	100.0



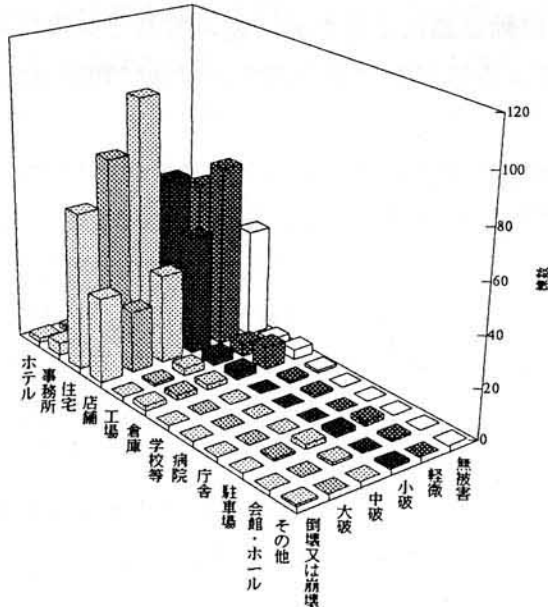
用途別建築棟数の内訳

建物用途	棟数	(%)
ホテル	7	0.756
事務所	88	9.5
住宅	465	50.2
店舗	302	32.6
工場	16	1.7
倉庫	28	3.0
学校等	2	0.2
病院	1	0.1
庁舎	0	0.0
駐車場	10	1.1
会館・ホール	3	0.3
その他	4	0.4

表2.2.4.9 用途と被害状況との関係（昭和56年以前）

(単位:棟)

被害度 ランク	用途																					
	ホテル (%)	事務所 (%)	住宅 (%)	店舗 (%)	工場 (%)	倉庫 (%)	学校等 (%)	病院 (%)	庁舎 (%)	駐車場 (%)	会館・ホール (%)	その他 (%)										
倒壊又は崩壊	2	50.0	5	8.1	62	15.3	33	13.0	0	0.0	2	9.1	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	1	50.0
大破	2	50.0	7	11.3	80	19.8	24	9.4	1	6.3	2	9.1	0	0.0	0	0.0	0	0.0	1	14.3	0	0.0
中破	0	0.0	9	14.5	101	25.0	35	13.8	3	18.8	2	9.1	0	0.0	0	0.0	0	0.0	2	28.6	1	50.0
小破	0	0.0	12	19.4	66	16.3	47	18.5	4	25.0	3	13.6	0	0.0	0	0.0	0	0.0	2	28.6	0	0.0
軽微	0	0.0	17	27.4	61	15.1	72	28.3	5	31.3	9	40.9	1	50.0	1	100.0	0	0.0	2	28.6	1	50.0
無被害	0	0.0	12	19.4	34	8.4	43	16.9	3	18.8	4	18.2	1	50.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
総計	4	100.0	62	100.0	404	100.0	254	100.0	16	100.0	22	100.0	2	100.0	1	100.0	0	0.0	7	100.0	2	100.0



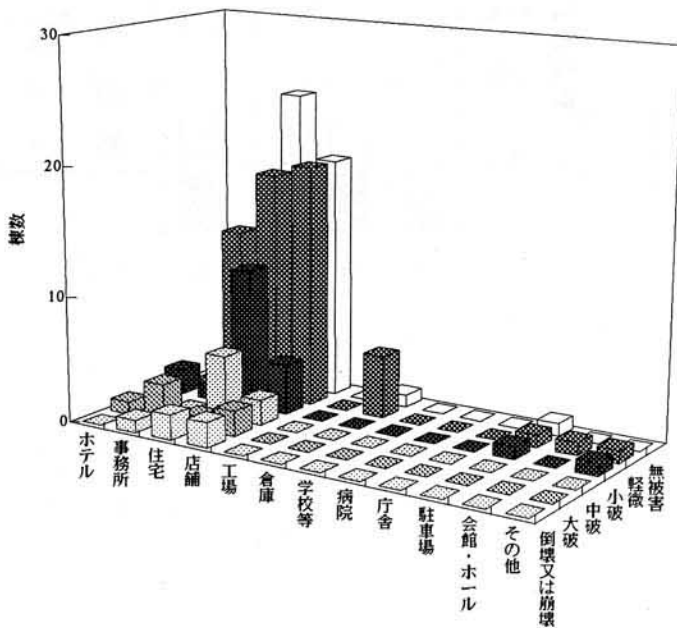
用途別建築棟数の内訳

建物用途	棟数	(%)
ホテル	4	0.5
事務所	62	8.0
住宅	404	52.1
店舗	254	32.7
工場	16	2.1
倉庫	22	2.8
学校等	2	0.3
病院	1	0.1
庁舎	0	0.0
駐車場	7	0.9
会館・ホール	2	0.3
その他	2	0.3

表2.2.4.10 用途と被害状況との関係（昭和57年以降）

(単位:棟)

被害度 ランク	用途																					
	ホテル (%)	事務所 (%)	住宅 (%)	店舗 (%)	工場 (%)	倉庫 (%)	学校等 (%)	病院 (%)	庁舎 (%)	駐車場 (%)	会館・ホール (%)	その他 (%)										
倒壊又は崩壊	0	0.0	1	3.8	2	3.3	2	4.2	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	1	50.0
大破	1	33.3	3	11.5	1	1.6	2	4.2	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
中破	0	0.0	0	0.0	5	8.2	2	4.2	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
小破	2	66.7	1	3.8	11	18.0	4	8.3	0	0.0	0	0.0	0	0.0	1	33.3	0	0.0	1	50.0	0	0.0
軽微	0	0.0	13	50.0	18	29.5	19	39.6	0	0.0	5	83.3	0	0.0	0	0.0	0	0.0	1	33.3	1	100.0
無被害	0	0.0	8	30.8	24	39.3	19	39.6	0	0.0	1	16.7	0	0.0	0	0.0	0	0.0	1	33.3	0	0.0
総計	3	100.0	26	100.0	61	100.0	48	100.0	0	0.0	6	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	3	100.0	1	100.0



用途別建築棟数の内訳

建物用途	棟数	(%)
ホテル	3	2.0
事務所	26	17.3
住宅	61	40.7
店舗	48	32.0
工場	0	0.0
倉庫	6	4.0
学校等	0	0.0
病院	0	0.0
庁舎	0	0.0
駐車場	3	2.0
会館・ホール	1	0.7
その他	2	1.3

2. 2. 5 日本建築学会・日本都市計画学会・兵庫県による被災度調査

日本建築学会都市計画部会関西支部および日本都市計画学会近畿支部が合同で実施した被災度調査および兵庫県による補足調査（以下、合わせて「被災度調査」と呼ぶ）の結果を分析した。現在、利用可能な建物の位置・形状データは約54万3千棟分であるが、この内、被災度調査の結果との突き合わせ（建物位置・形状データへの対応する被災度の読み込み）ができたものは約34万7千棟である。この作業は計算機による自動認識によるため、読み取りミス等は未だ残されており、あくまでも速報であるが、計算機による処理が可能と言う点で他に類を見ないデータとなっている。

被災度調査には、用途、構造、建築年等の建築物に関するデータは全く含まれていないため、デジタルマッピングデータおよび1/2500国土基本図上で判別可能な、堅牢（3階建て以上）、非堅牢（2階建て以下）、無壁（壁のないもの）の構造種別に集計を行った（図2.2.5.1～2）。

まず全数を見ると（図2.2.5.1）、堅牢建築物が約3万7千棟と4万棟に満たないのに対して、非堅牢建築物は約30万7千棟と30万棟を越えており、堅牢建築物の8倍を越えている。そのため、全壊の非堅牢建築物だけでも堅牢建築物の総数を越えており、被災建物に占める非堅牢建物の比率は極めて高くなっている。

次に構造種類別の被災度の構成比を見てみる（図2.2.5.2）。非堅牢建築物は被災度が他の建築物に比べ高いことが示されており、特に全壊、半壊の重大な被害の比率が他に比べ高いことが示されている。

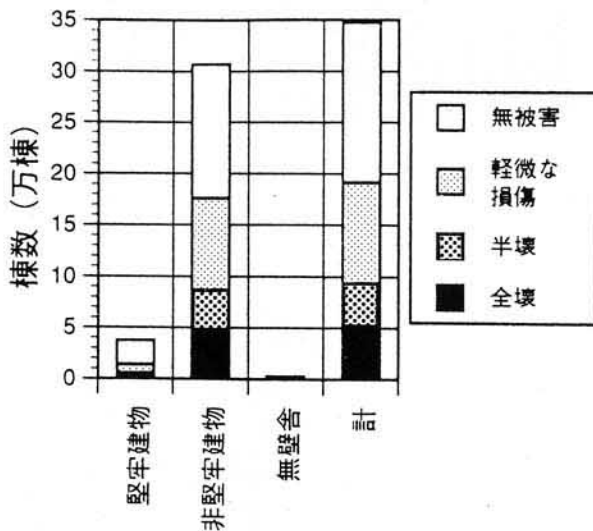


図2.2.5.1 構造種類別の被災度毎件数

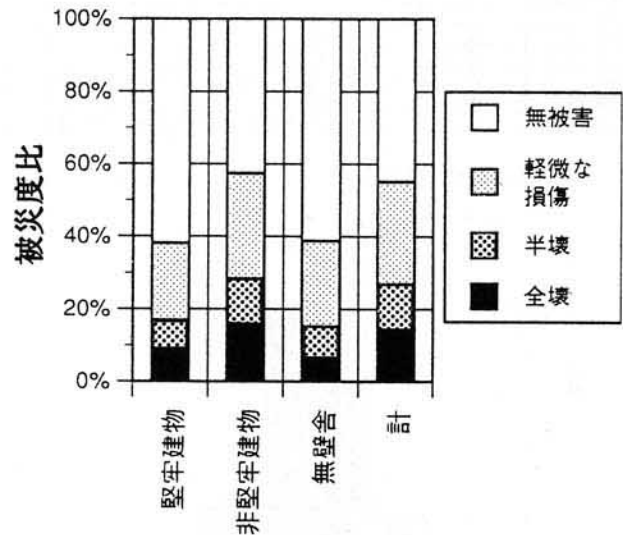


図2.2.5.2 構造種類別の被災度比

2. 2. 6 建築業協会調査結果のマクロ分析

ここでは、建築業協会が行った調査結果をもとに、各調査項目に該当する建築物棟数及びそのクロス集計を報告する。

(1) 建築業協会調査の概要

建築業協会調査は、1月～3月にかけて、同協会の会員が調査した建築物についてのデータを建築震災調査委員会の調査項目に読み替える形式で行われた。そのため、調査項目の全てに対して、必ずしも回答していない。その回答要領は、建築震災調査委員会緊急調査と同様である。(表2.2.6.1～2)

なお、この調査結果は、概ね、被災程度に無関係に対象建築物が抽出されており、また、建築年度が明らかになっているものが多い等の特徴があり、建築年度ごとの被災率の分析に有効である。

(2) 建築業協会調査の集計結果

a) 各選択肢別の調査建築物棟数

調査建築物棟数は、総計で3,602棟であり、各選択肢に該当する棟数を以下に示す。

所在地別では、兵庫県から2,928棟、大阪府631棟、京都府18棟等広範囲な地域から集計された。市町村別では神戸市内が最も多く1,775棟であり、8区全てから集計され、特に、中央区が561棟と最も多かった。震災による処理別では、約60%の2,040棟が現状維持であるが、不明も1,267棟と多い。推定建築年別では、全体の約65%の2,325棟を推定することができ、昭和57年以降が1,403棟と最も多く、次いで昭和47～56年の537棟、昭和46年以前の385棟である。用途別では、共同住宅が最も多く1,249棟、以下事務所の624棟等である。構造別では、現場打ちRC造が最も多く2,007棟、以下S造が752棟、SRC造が429棟等である。構造形式では、2方向ともラーメン式が約60%を占めている。地上階数は、3階が最も多く596棟であり、次いで4階が512棟、2階が469棟、5階が445棟となり、調査対象が広範囲に及んでいる。被災度ランク別では、倒壊又は崩壊が67棟、大破が161棟と、この2つのランクで全体の約6%である。また、全焼は2棟、部分焼は2棟であった。構造体被害状況別では、層崩壊が79棟、一部の柱の座屈が138棟等であり、この2種類の被害状況が全体の約6%である。

b) 調査項目別のクロス集計結果

調査建築物について、調査項目のうち適当なもの2つを選んでクロス集計を行った。以下にその結果を表2.2.6.1～9に示し、縦軸を棟数とした3次元棒グラフを各表の下又は右に添付している。また、推定建築年及び被災度ランクについてのクロス集計では、各選択肢ごとの総数に対する割合を縦軸にした棒グラフを3次元棒グラフの右に添付した。

① 所在地と震災による処理について(表2.2.6.1～2)

各地域で、50%程度が現状維持、10%程度が除却済又は除却工事中、5%程度が補強工事中であった。

② 用途と構造について (表2.2.6.3)

各構造で、概ね住宅が多かった。

③ 構造と被災度ランク (構造) について (表2.2.6.4)

各構造で、小破以下がもっとも多く、次いで中破、大破、倒壊又は崩壊であり、中破以下が約70%を占めている。被害の小さい建築物が殆どである。

④ 用途と被災度ランク (構造) について (表2.2.6.5)

各用途についても、小破以下がもっとも多く、次いで中破、大破、倒壊又は崩壊であり、中破以下が約70%を占めている。住宅よりもホテル・事務所・店舗等の被害の方が大きい傾向がある。

⑤ 被災度ランク (構造) と推定建築年について (表2.2.6.6)

推定建築年別には、調査対象建築物が、昭和46年以前で385棟、昭和47～56年で538棟、昭和57年以降で1402棟であるのに対し、「倒壊又は崩壊」と「大破」の棟数は、それぞれ昭和46年以前で28棟および47棟、昭和47～56年で9棟および39棟、昭和57年以降で2棟および22棟となり、「倒壊又は崩壊」率、「大破」率は、それぞれ昭和46年以前で7%および12%、昭和47～56年で2%および7%、昭和57年以降で0.1%および2%となる。

このことから、被害を受けた建築物の割合は、昭和46年以前の古い建築物が最も高く、建築年が新しくなるほど、小さくなるといえる。

⑥ 構造体被害状況と推定建築年について (表2.2.6.7)

構造体被害状況のうち1階層崩壊、中間階崩壊、柱一部座屈については、被災度ランク (構造) と推定建築年の場合と同様に、建築年が新しいほど、被害を受けた建築物の割合が減っているが、比較的軽微と思われるその他の被害を受けた建築物の割合は増加している。

⑦ 構造と構造体被害状況について (表2.2.6.8)

被害の大きい建築物が少ないため、各構造で、その他の被害が最も多い。

⑧ 被災度ランク (構造) とピロティーについて (表2.2.6.9(1)～(3))

ピロティーのある建築物の方が若干大破以上の被害率が高いが、被害の大きい建築物が少ないため、ピロティーによる影響は明らかではない。

⑨ 鉄骨造接合部の被害と推定建築年について (表2.2.6.10)

昭和46年以前、昭和47年～56年、昭和57年以降の順で鉄骨造接合部の被害率は小さくなっているが、昭和57年以降についても溶接部破断の被害事例は多い。

⑩ 鉄骨造柱脚の被害と推定建築年について (表2.2.6.11)

昭和46年以前、昭和47年～56年、昭和57年以降の順で鉄骨造柱脚の被害率は小さくなっているが、昭和57年以降についてもアンカーボルトの破断の被害事例は多い。

⑪ 被災度ランク別 (構造) の神戸市全体の建築物棟数 (推定) との比較 (表2.2.6.12(1)～(3))

今回の震災による被災区域は必ずしも神戸市の全体にわたっているわけではないが、被災区域の建築物を推計することは困難なので、ここでは神戸市内の建築物の棟数を建築年別に推定したものと、被災度ランク (構造) と推定建築年のクロス集計を表2.2.6.12(1) (全体)、表2.2.6.12(2) (非木造)、表2.2.6.12(3) (木造等) に示す。また、被災度ランク (構造) ごとに推定建築年別棟数の占める割合を棒グラフにして、表の右に示す。ただし、不明なものを除く

た。

ここで、神戸市内の建築物の総棟数（ストック）については、建築震災調査委員会の場合と同様とした。

非木造の推定建築年別割合（表2.2.6.12(2)）のうち、昭和57年以降に建築され中破以下の被害を受けた建築物の割合は神戸市全体を上回っているが、昭和57年以降に建築され「倒壊又は崩壊」と「大破」の被害を受けた建築物の割合は、神戸市全体の半分以下となっている。

このことから、昭和57年以降に建築された建築物は、大破以上の被害を受けにくかったといえる。

(社) 建築業協会調査
 (調査地域：兵庫県、大阪府等、実施期間：H7-1~3)

表2.2.6.1 所在地と震災による処理のクロス集計 (全体)

(単位：棟)

震災による処理	所在地								不明	総計
	兵庫県				大阪府					
	神戸市	芦屋市	西宮市	尼崎市	池田市	豊中市	大阪市	その他		
除却済	5	0	0	0	1	0	0	0	0	6
除却工事中	43	2	3	2	0	0	0	1	0	51
補強工事中	175	13	20	10	0	2	3	15	0	238
現状維持	936	56	270	119	14	27	260	357	1	2040
不明	616	45	98	121	22	25	72	256	12	1267
総計	1775	116	391	252	37	54	335	629	13	3602

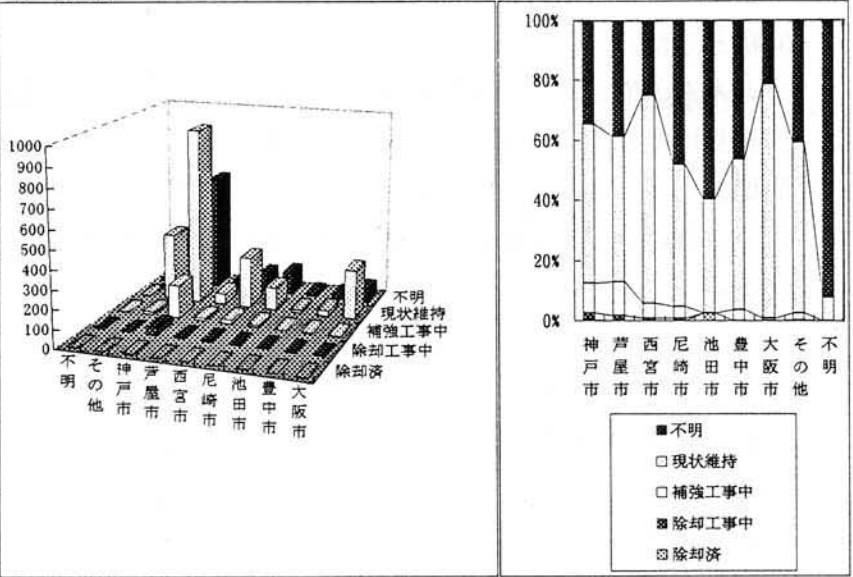


表2.2.6.2 所在地と震災による処理のクロス集計 (神戸市内)

(単位：棟)

震災による処理	所在地 (神戸市)										不明	小計
	北区	西区	垂水区	須磨区	長田区	兵庫区	中央区	灘区	東灘区			
除却済	0	0	0	0	0	0	4	0	1	0	0	5
除却工事中	0	0	0	3	4	5	19	3	9	0	0	43
補強工事中	10	2	7	6	12	17	61	18	42	0	0	175
現状維持	50	51	67	67	44	79	204	143	231	0	0	936
不明	11	16	30	13	28	39	273	34	157	15	0	616
総計	71	69	104	89	88	140	561	198	440	15	0	1775

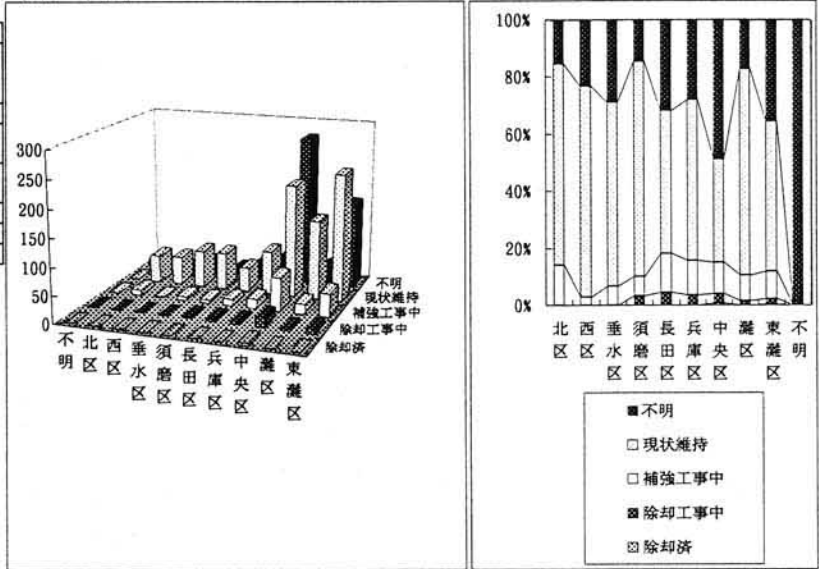
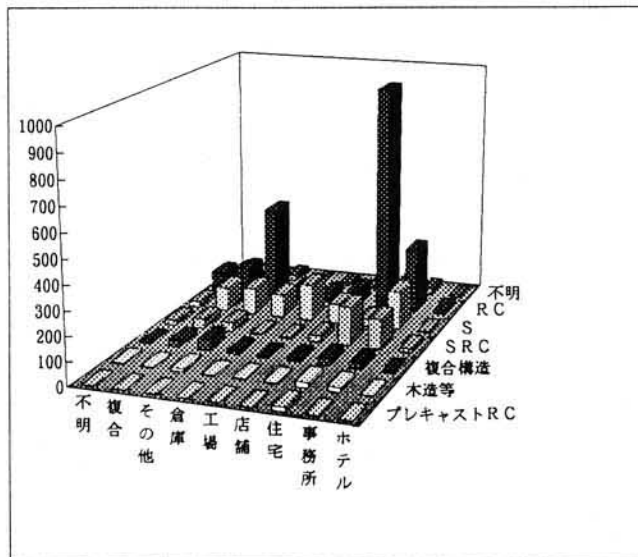


表2.2.6.3 用途と構造のクロス集計

(単位：棟)

構造	用途									不明	総計
	ホテル	事務所	住宅	店舗	工場	倉庫	その他	複合			
RC	20	272	957	69	42	52	394	116	85	0	2007
プレキャストRC	0	1	17	0	0	0	1	1	1	0	21
SRC	14	122	160	26	5	6	38	38	20	0	429
S	4	160	29	79	152	95	109	99	25	0	752
木造等	2	17	22	4	4	1	12	4	4	0	70
複合構造	4	27	31	15	8	16	47	28	7	0	183
不明	2	25	33	7	12	5	24	8	24	0	140
総計	46	624	1249	200	223	175	625	294	166	0	3602



(社) 建築業協会調査
 (調査地域：兵庫県、大阪府等、実施期間：H7-1~3)

表2.2.6.4 構造と被災度ランク (構造) のクロス集計

(単位：棟)

被災度ランク (構造)	構造							
	RC	プレキャストRC	SRC	S	木造等	複合構造	不明	総計
倒壊又は崩壊	33	0	19	9	3	3	0	67
大破	63	1	26	48	6	9	8	161
中破	161	2	72	93	7	29	13	377
小破以下	1317	15	250	401	26	82	71	2162
不明	433	3	62	201	28	60	48	835
総計	2007	21	429	752	70	183	140	3602

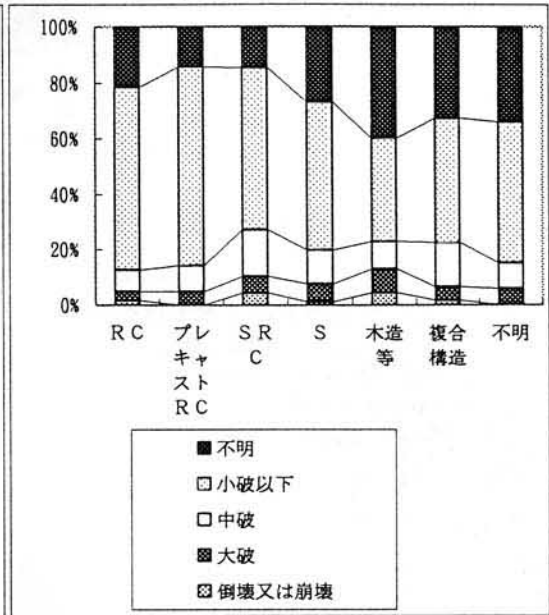
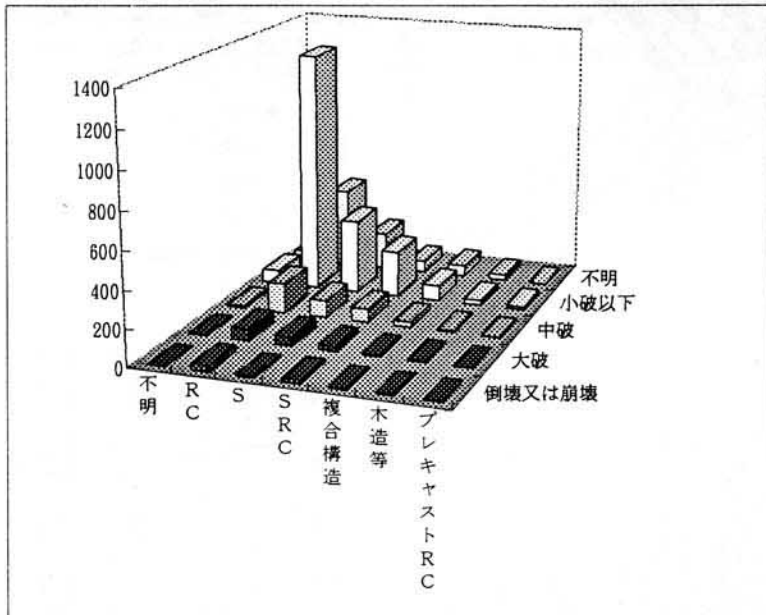
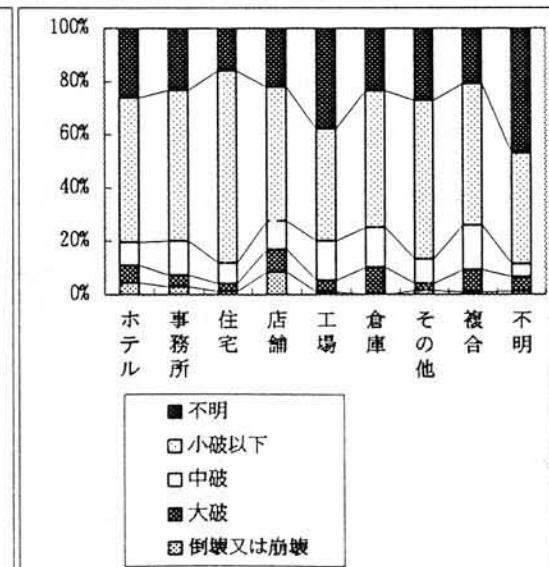
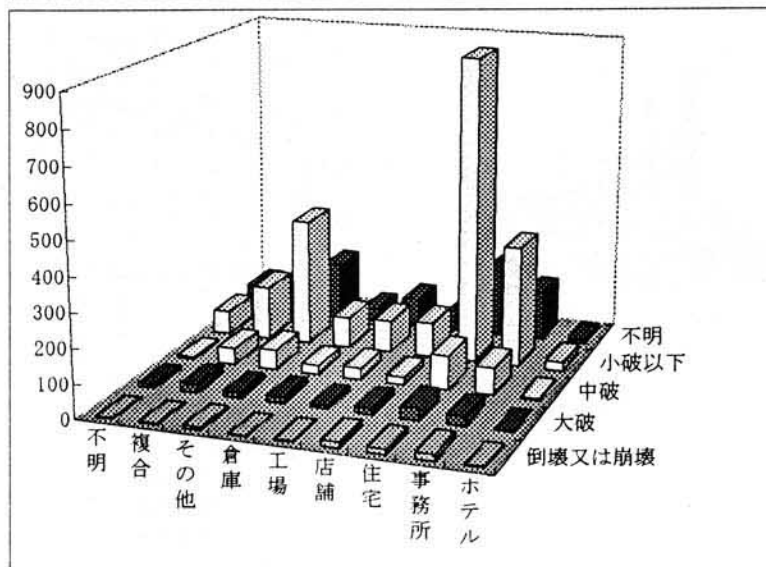


表2.2.6.5 用途と被災度ランク (構造) のクロス集計

(単位：棟)

被災度ランク (構造)	用途									
	ホテル	事務所	住宅	店舗	工場	倉庫	その他	複合	不明	総計
倒壊又は崩壊	2	18	14	17	2	0	9	3	2	67
大破	3	28	36	17	10	18	16	24	9	161
中破	4	79	99	21	33	26	58	49	8	377
小破以下	25	354	899	101	94	90	373	157	69	2162
不明	12	145	201	44	84	41	169	61	78	835
総計	46	624	1249	200	223	175	625	294	166	3602



(社) 建築業協会調査
(調査地域：兵庫県、大阪府等、調査期間：H7-1~3)

表2.2.6.6 被災度ランク（構造）と推定建築年のクロス集計

(単位：棟)

推定建築年	被災度ランク（構造）					総計
	倒壊 又は 崩壊	大破	中破	小破 以下	不明	
昭和46年以前	28	47	66	193	51	385
昭和47～56年	9	39	62	386	42	538
昭和57年以降	2	22	90	1197	91	1402
不明	28	53	159	386	651	1277
総計	67	161	377	2162	835	3602

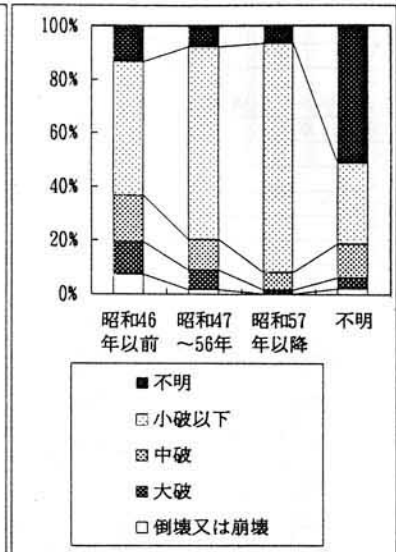
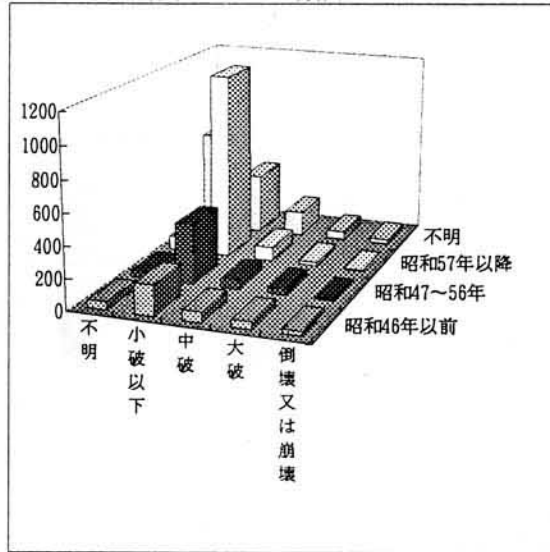


表2.2.6.7 構造体被害状況と推定建築年のクロス集計

(単位：棟)

推定建築年	構造体被害状況					不明	総計
	1階層崩壊	中間階崩壊	一部柱座屈	その他	組み合わせ		
昭和46年以前	14	16	31	192	5	127	385
昭和47～56年	6	2	15	308	5	202	538
昭和57年以降	2	0	12	763	6	619	1402
不明	23	12	79	615	12	536	1277
総計	45	30	137	1878	28	1484	3602

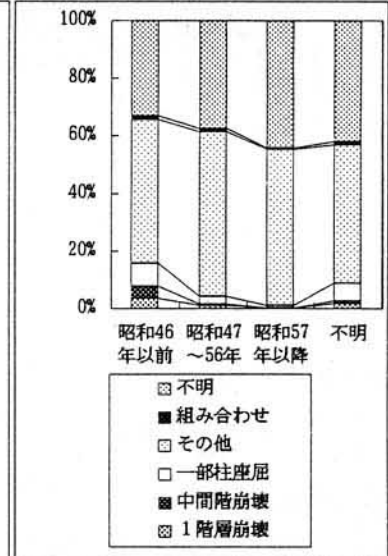
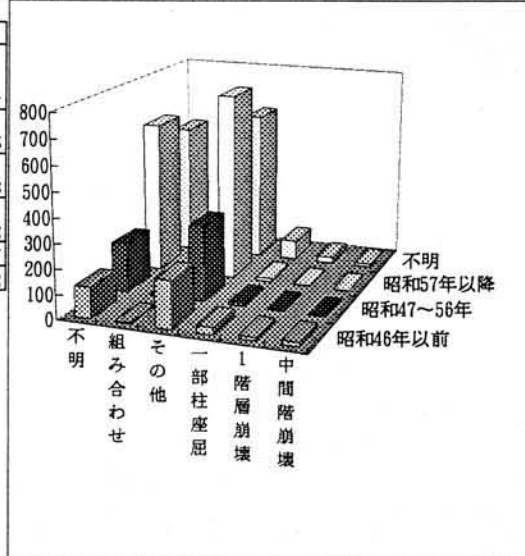
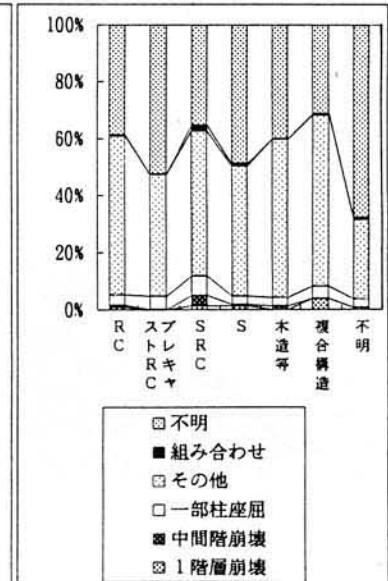
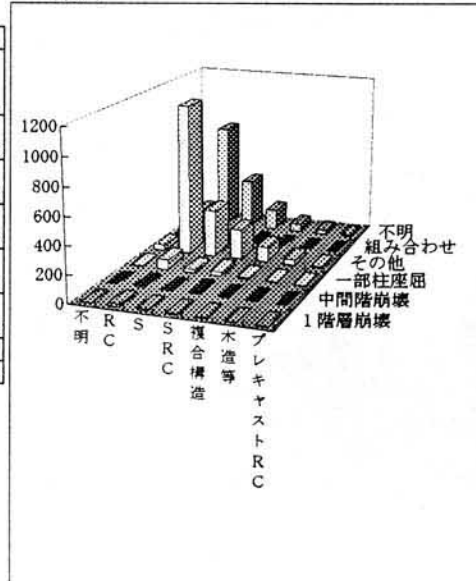


表2.2.6.8 構造と構造体被害状況のクロス集計

(単位：棟)

構造体被害状況	構造						不明	総計
	R	C	プレキャストRC	S	木造等	複合構造		
1階層崩壊	20	0	6	11	0	7	1	45
中間階崩壊	12	0	15	2	1	0	0	30
一部柱座屈	71	1	29	22	2	8	4	137
その他	1117	9	219	345	39	110	39	1878
組み合わせ	11	0	9	6	0	1	1	28
不明	776	11	151	366	28	57	95	1484
総計	2007	21	429	752	70	183	140	3602

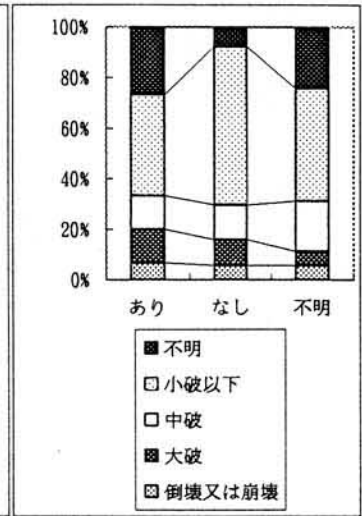
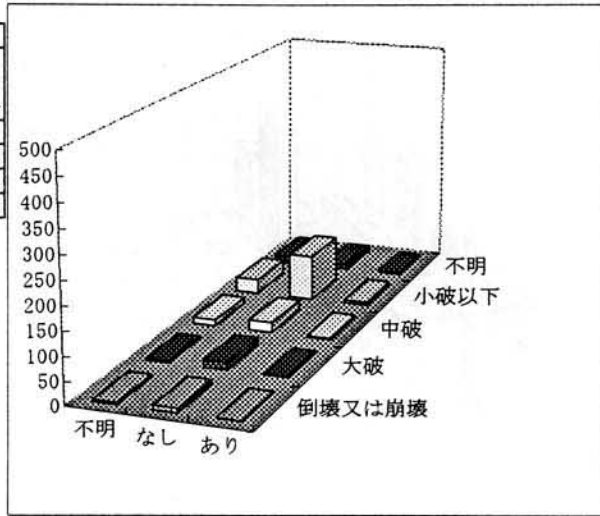


(社) 建築業協会調査
 (調査地域：兵庫県、大阪府等、調査期間：H7-1~3)

表2.2.6.9 被災度ランク（構造）とピロティーのクロス集計
 (1) 昭和46年以前に建築されたRC造

(単位：棟)

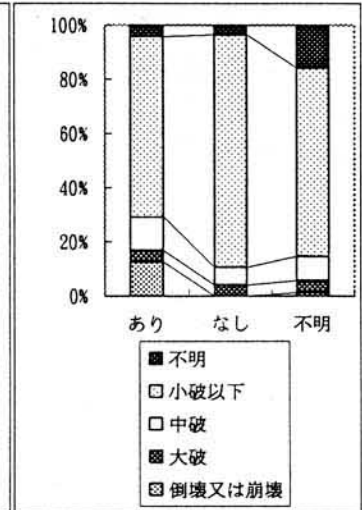
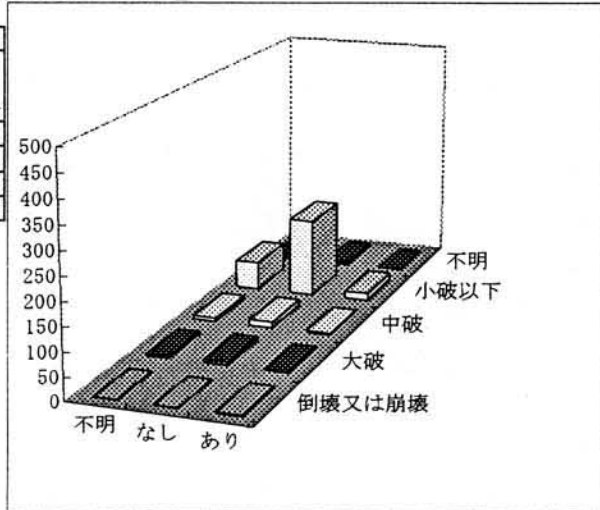
ピロティー	被災度ランク (構造)					総計
	倒壊 又は 崩壊	大破	中破	小破 以下	不明	
あり	1	2	2	6	4	15
なし	9	16	22	99	12	158
不明	4	4	14	31	17	70
総計	14	22	38	136	33	243



(2) 昭和47~56年以前に建築されたRC造

(単位：棟)

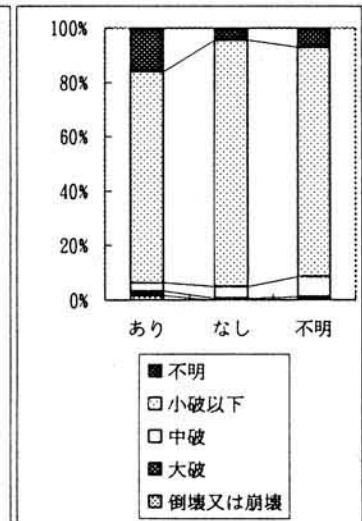
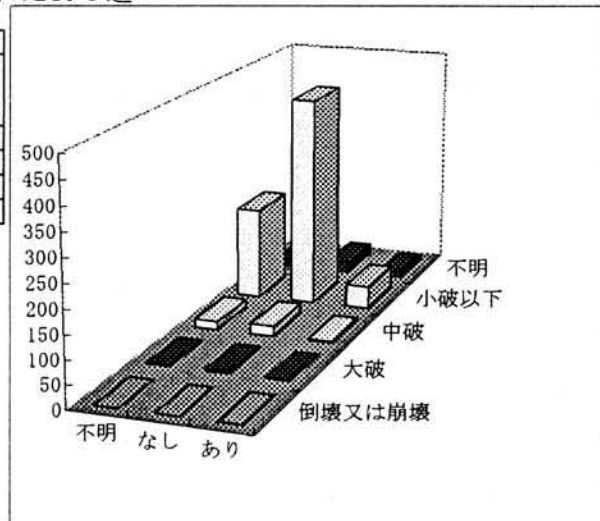
ピロティー	被災度ランク (構造)					総計
	倒壊 又は 崩壊	大破	中破	小破 以下	不明	
あり	3	1	3	16	1	24
なし	0	8	13	171	7	199
不明	1	4	8	62	14	89
総計	4	13	24	249	22	312



(3) 昭和57年以降に建築されたRC造

(単位：棟)

ピロティー	被災度ランク (構造)					総計
	倒壊 又は 崩壊	大破	中破	小破 以下	不明	
あり	1	1	2	48	10	62
なし	0	4	21	460	23	508
不明	0	3	17	201	17	238
総計	1	8	40	709	50	808



(社) 建築業協会調査
 (調査地域：兵庫県、大阪府等、調査期間：H7-1~3)

表2.2.6.10 鉄骨造接合部の被害と推定建築年のクロス集計 (S造)

(単位：棟)

推定建築年	S造接合部の被害				総計
	溶接破断	高力ボルト破断	破断なし	不明	
昭和46年以前	5	5	12	15	37
昭和47~56年	4	5	44	33	86
昭和57年以降	7	1	184	99	291
不明	11	12	103	212	338
総計	27	23	343	359	752

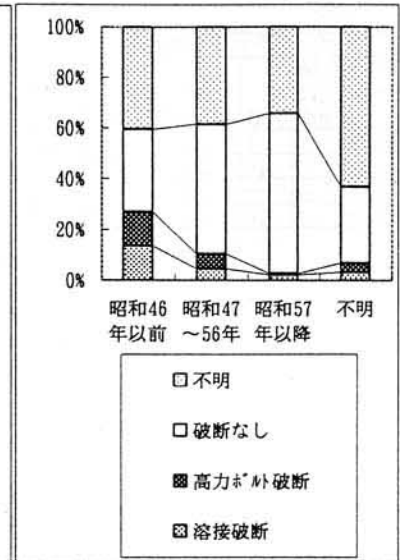
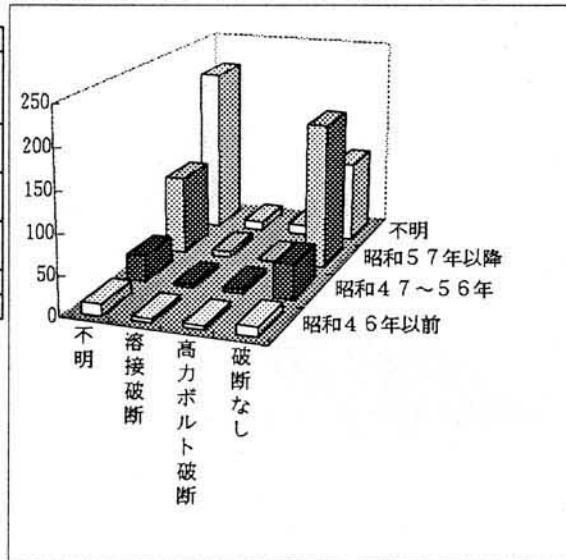
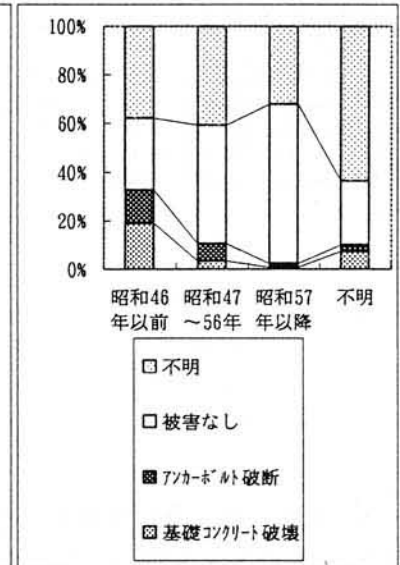
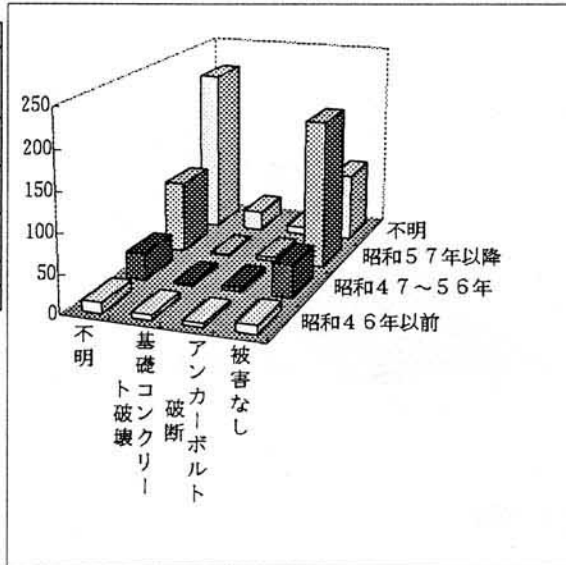


表2.2.6.11 鉄骨造柱脚の被害と推定建築年のクロス集計 (S造)

(単位：棟)

推定建築年	S造柱脚の被害				総計
	基礎コンクリート破壊	アンカーボルト破断	被害なし	不明	
昭和46年以前	7	5	11	14	37
昭和47~56年	3	6	42	35	86
昭和57年以降	2	5	191	93	291
不明	25	9	89	215	338
総計	37	25	333	357	752



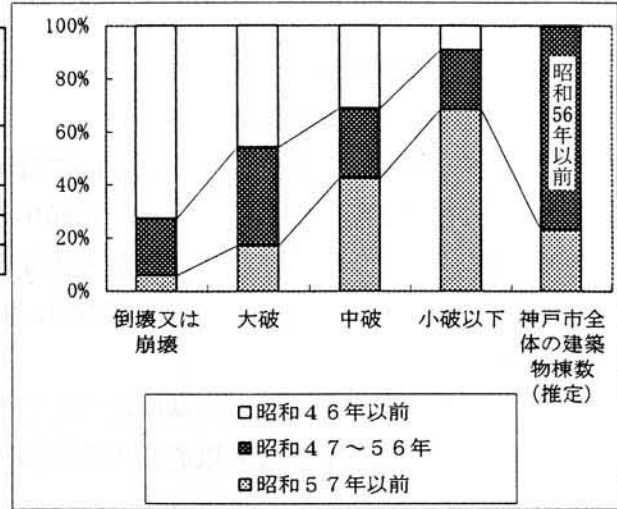
(社) 建築業協会調査
 (調査地域：兵庫県、大阪府等、実施期間：H7-1~3)

表2.2.6.12 被災度ランク（構造）別、神戸市全体の建築物棟数（推定）との比較

(1) 被災度ランク（構造）と推定建築年のクロス集計

(単位：棟)

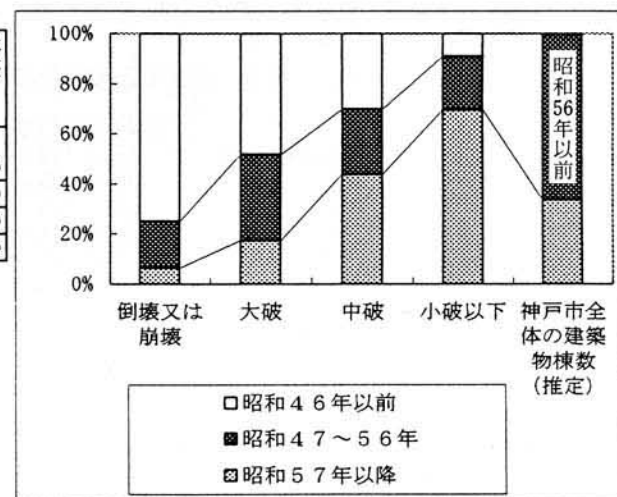
推定建築年	被災度ランク（構造）					神戸市全体の建築物棟数（推定）
	倒壊又は崩壊	大破	中破	小破以下	不明	
昭和46年以前	24	35	48	71	30	208
昭和47～56年	7	28	40	171	19	265
昭和57年以前	2	13	65	526	33	639
不明	27	45	114	181	296	663
総計	60	121	267	949	378	1775



(2) 非木造についての被災度ランク（構造）と推定建築年のクロス集計
 (RC、SRC、S造)

(単位：棟)

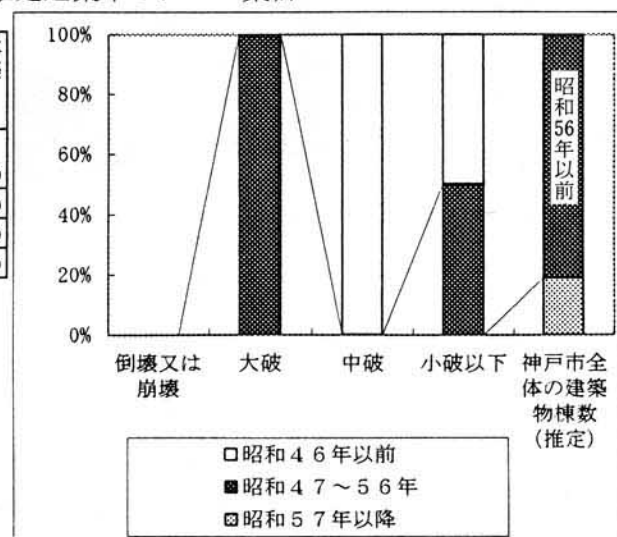
推定建築年	被災度ランク（構造）					神戸市全体の建築物棟数（推定）
	倒壊又は崩壊	大破	中破	小破以下	不明	
昭和46年以前	24	31	41	64	22	182
昭和47～56年	6	22	35	150	14	227
昭和57年以降	2	11	59	489	26	587
不明	24	40	98	160	261	583
総計	56	104	233	863	323	1579



(3) 木造等についての被災度ランク（構造）と推定建築年のクロス集計

(単位：棟)

推定建築年	被災度ランク（構造）					神戸市全体の建築物棟数（推定）
	倒壊又は崩壊	大破	中破	小破以下	不明	
昭和46年以前	0	0	1	2	0	3
昭和47～56年	0	1	0	2	0	3
昭和57年以降	0	0	0	0	0	0
不明	2	1	3	5	4	15
総計	2	2	4	9	4	21



2. 2. 7 マクロ分析のまとめ

ここでは、個々のマクロ分析の結果をとりまとめて、今後の対策についての考察を含め報告する。

(1) 建築物被害の特性

a) 建築年と被害状況との関係

建築年と被害状況の関係については、「中央区の特定の地域を対象とした悉皆調査」及び「建築業協会調査」から、昭和56年の新耐震設計法に基づく建築基準法改正以降の建築物については倒壊に至るような大きな被害は少ないのに対し、これ以前に建築された建築物の被害は大きく、その中でも特に昭和46年以前の建築物の被害が大きいことが定量的に明らかとなった。

このことから、現行の基準について抜本的に改正する必要はないが、既存建築物、とりわけ新耐震設計法導入以前の古い建築物の耐震性能の向上が緊急の課題であると考えられる。

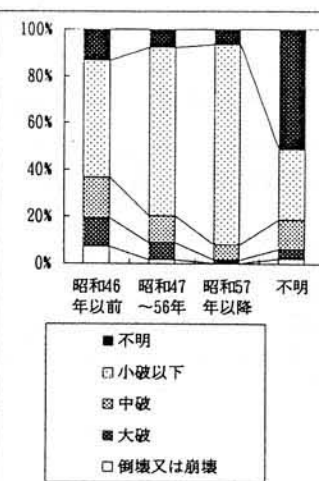
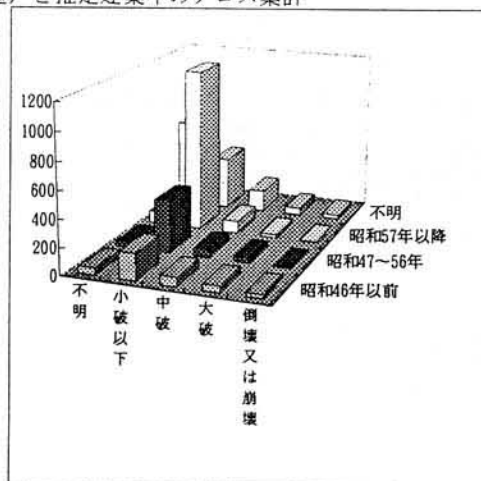
以下に、「中央区の特定の地域を対象とした悉皆調査」及び「建築業協会調査」に基づく分析結果を示す（表2. 2. 4. 3および表2. 2. 6. 6（再掲））。

表2. 2. 4. 3 建築年と被害状況のクロス集計(建築物全体)

	(単位：棟)		
	昭和46年以前	昭和47～56年	昭和57年以降
倒壊又は崩壊	95 (17%)	10 (5%)	5 (3%)
大破	102 (18%)	14 (7%)	8 (5%)
中破	129 (23%)	22 (11%)	8 (5%)
小破	95 (17%)	42 (20%)	17 (11%)
軽微	102 (18%)	66 (32%)	58 (39%)
無被害	45 (8%)	51 (25%)	54 (36%)
総計	568 (100%)	205 (100%)	150 (100%)

表2. 2. 6. 6 被災度ランク（構造）と推定建築年のクロス集計

推定建築年	被災度ランク（構造）					総計
	倒壊又は崩壊	大破	中破	小破以下	不明	
昭和46年以前	28	47	66	193	51	385
昭和47～56年	9	39	62	386	42	538
昭和57年以降	2	22	90	1197	91	1402
不明	28	53	159	386	651	1277
総計	67	161	377	2162	835	3602



b) 用途種別と被害状況との関係

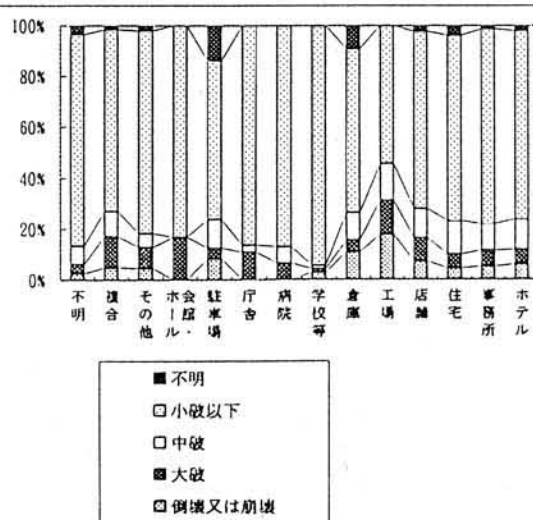
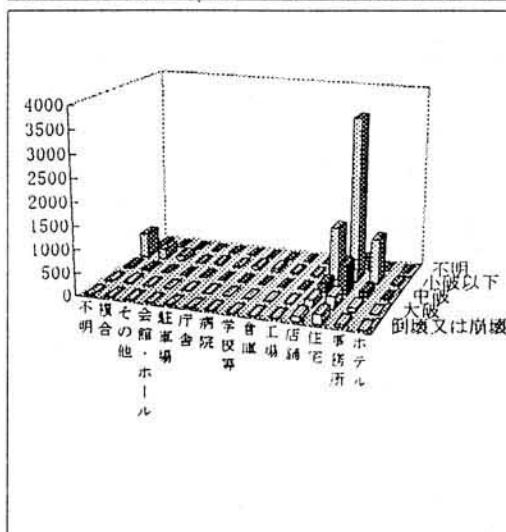
用途種別と被害状況の関係について、用途について比較的詳細に記述されている「日本建築学会兵庫県南部地震被害調査WGによる調査」により分析したところ、ホテル、店舗、会館ホール等の不特定多数の人が集まる施設や、庁舎、病院、学校等の救援・復旧活動の拠点となる施設においても他の建築物と同程度の大きな被害が出ている。（表2.2.3.4（再掲）を参照）

このような施設については、早急な耐震改修、補強が緊急の課題である。特に、救援・復旧の拠点となる施設については、地震があっても建築物の本来の機能を維持できるようにしていくことが必要である。

表2.2.3.4 被災度ランク（構造）と用途のクロス集計

（単位：棟）

被災度ランク (構造)	用途														総計
	ホテル	事務所	住宅	店舗	工場	倉庫	学校等	病院	庁舎	駐車場	会館・ホール	その他	護合	不明	
倒壊又は崩壊	3	64	308	117	12	7	2	0	0	6	0	7	15	17	458
大破	3	82	274	147	9	3	1	5	4	3	1	12	38	23	605
中破	6	128	641	185	10	7	1	5	1	8	0	8	31	47	1078
小破以下	38	972	3563	1134	37	42	70	68	32	45	5	119	223	542	6890
不明	1	17	186	39	0	6	0	0	0	10	0	3	5	23	290
総計	51	1263	4872	1622	68	65	74	78	37	72	6	149	312	652	9321



c) 構造種別と構造体被害状況の関係

「建築震災調査委員会緊急調査」及び「建築業協会調査」によれば、構造体の被害としては、

- ・RC造、SRC造 1階層崩壊、中間階崩壊、一部の柱の座屈
- ・S造 溶接部破断、ブレース破断、柱脚破損

が多く見られる。（表2.2.1.10、表2.2.1.12、表2.2.1.13、表2.2.6.8、表2.2.6.10及び表2.2.6.11）

この内、RC造では、昭和46年以前の古い建築物では、ピロティの有無に関わらず、大

きな被害が見られるが、新しい建築物、特に昭和56年の新耐震設計法導入以降の建築物については、「倒壊又は崩壊」といった大きな被害を受けた建築物の多くはピロティ形式の建築物である。（表2.2.1.11及び表2.2.6.9）

また、S造では、溶接部破断の原因として、溶接サイズの不足や、完全溶け込み溶接とすべきところへの隅肉溶接の採用等が考えられるが、このような被害は、古い建築物のみならず新しい建築物にも見られている。（表2.2.1.12及び表2.2.6.10）

(2) 建築物被害と死者について

今回の地震は早朝であったため、死者の発生は住宅で多いと考えられる。以下に、兵庫県、兵庫県警察本部、神戸市が発表している資料に基づき、全壊棟数と死者数の関係について図を示す。全壊棟数と死者数は高い相関関係を示しているが、神戸市東灘区と芦屋市では全壊棟数に対する死者数が他の区・市等と比べて突出している。

このなかで、特に、神戸市の東灘区、灘区、長田区や西宮市等で全壊棟数も死者も多く発生しているが、これを「応急危険度判定結果分析」と比較すると、これらの地域が木造共同住宅の「危険」の比率が高い地域と一致する。（表2.2.2.4）

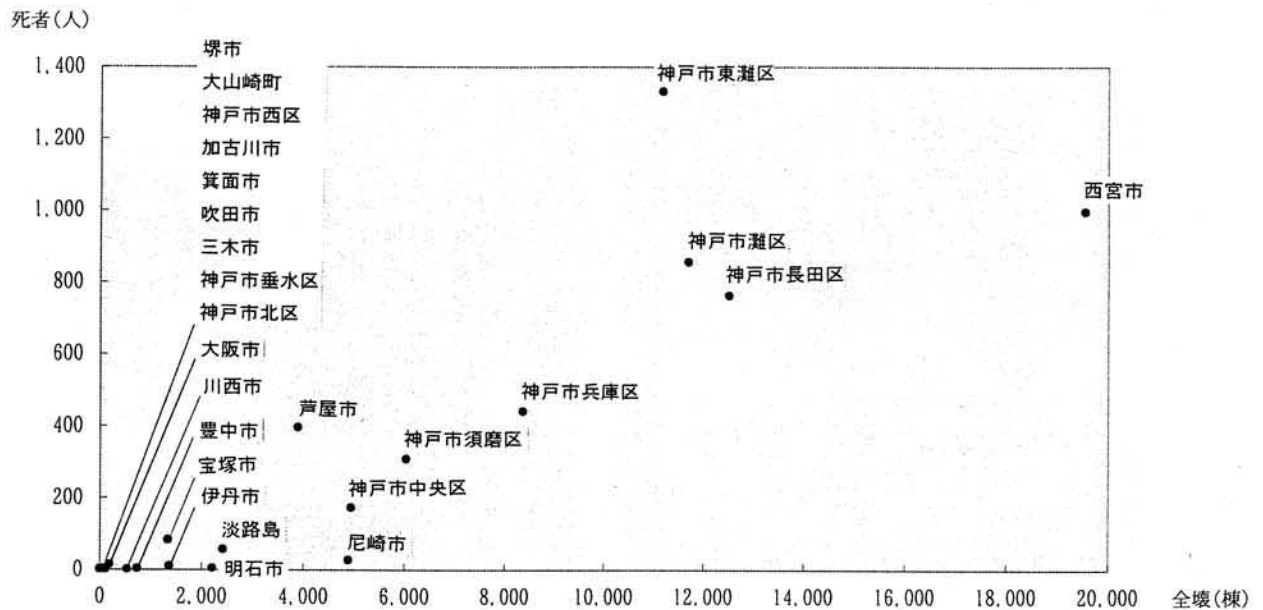


図2.2.7.1 兵庫県南部地震における住家被害と死者の関係

3 被害状況、被害要因等の分析と提言

3. 1 地震及び地震動

3. 1. 1 震源の特性

兵庫県南部地震の震源メカニズムについては、地震発生後の早い段階で推定値が公表されている。それによると、断層の破壊が始まったのは、淡路島北端の沖合いで、そこからまず北東および南西の方向に両方向に破壊が進んだ（双方向破壊）。そのうちの神戸側に進行した破壊は、方向をわずかに北側に変えて第2の破壊に進んだ。そしてこの第2の破壊からまた枝分かれした第3の破壊が神戸市街に最も近いところで進行した。すなわち今回の地震は3つの小断層破壊が連鎖反動的に進んだものといわれている。

図3.1.1.1に震源断層の破壊メカニズムを（菊地、1995）、表3.1.1.1に地震の諸元を示す。それによると震源は（走向、傾斜、滑り角）がそれぞれ（233, 85, 165）の右横ずれ断層であった（上図参照）。地震モーメント(M_0)は全体で 2.5×10^{26} dyne•cm、断層面の大きさは同じく全体で40km×10kmであったとされている。図中右上に示した破壊プロセスでわかるとおり、これらの断層破壊は11秒間で終了した。気象庁発表の地震のマグニチュードは7.2、震源（断層破壊が開始した位置）の深さは14.3kmである。モーメントマグニチュード(M_w)は6.9である。

神戸周辺では、従来より多くの活断層の存在が認識されていた。新幹線新神戸駅の建設に当たっては駅直下を活断層が横切るため、駅舎を構造的に分離する考慮がなされていた。今回の地震では、今までに存在が確認されていた活断層の内のどの部分が壊れたか、あるいは未確認の断層（伏在断層）が動いたのかまだ調査中の段階である。「震災の帯」といわれた、東西に連なった震度7の領域の出現理由が主として震源位置によるものなのか、あるいは表層地盤の震動性状に起因するのかを詳細な検討により明らかにすることが今後の復旧のためにも必要である。

図3.1.1.2に、神戸市周辺の活断層（嶋本、1995）を示すが、このうち今回の地震で動いたのが確実視されている断層として、野島断層、須磨断層、会下山断層、諏訪山断層などが挙げられている。

表 3.1.1.1 兵庫県南部地震の諸元

発生時：	1995年1月17日5時46分52秒
震央：	北緯34°36.4'、東経135°2.6'
深さ：	14.3km
マグニチュード：	7.2（気象庁発表）
地震モーメント：	2.5×10^{26} dyne•cm
モーメントマグニチュード：	6.9
断層面積：	40km×10km
全体くいちがい量：	2.1m
応力降下量：	100~200 bar

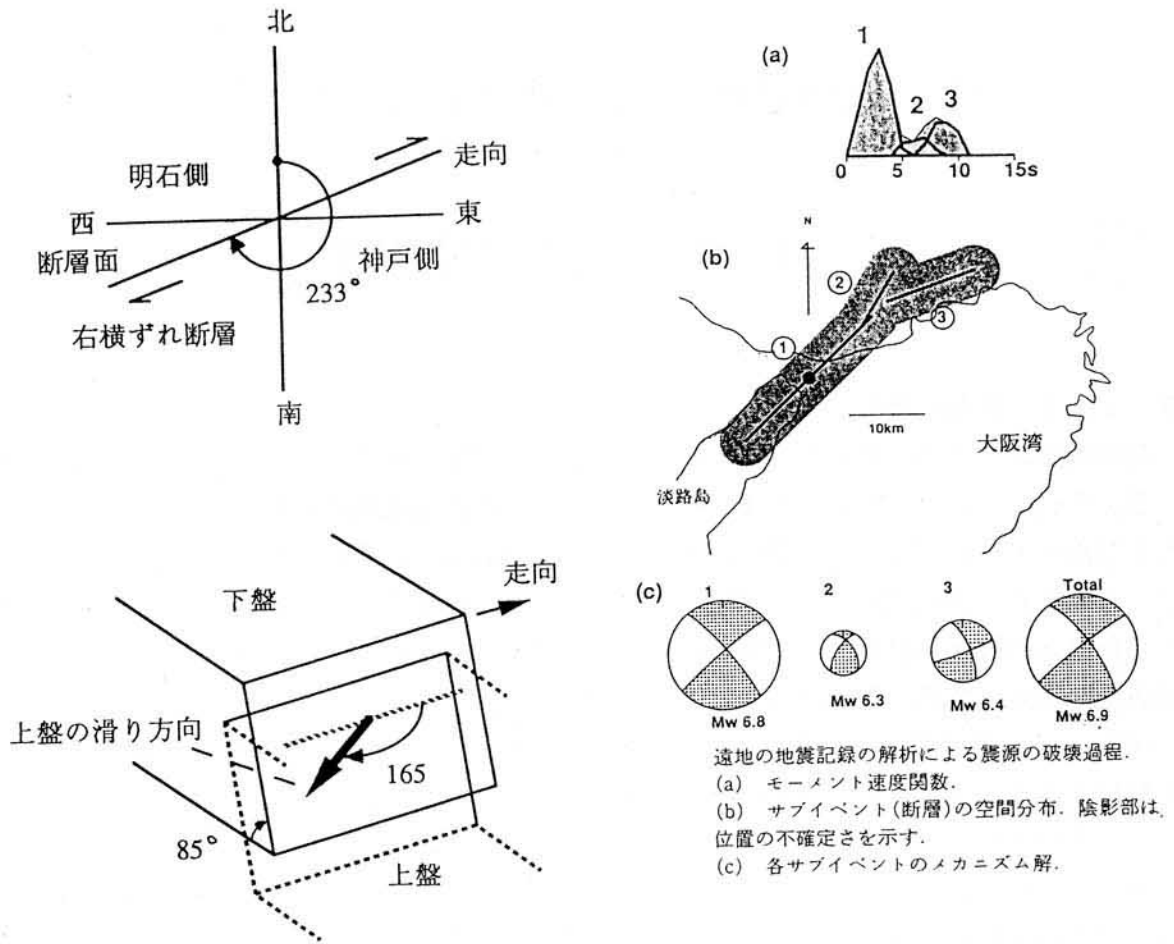


図3.1.1.1 兵庫県南部地震の震源断層破壊メカニズム
(菊地, 1995 に加筆)

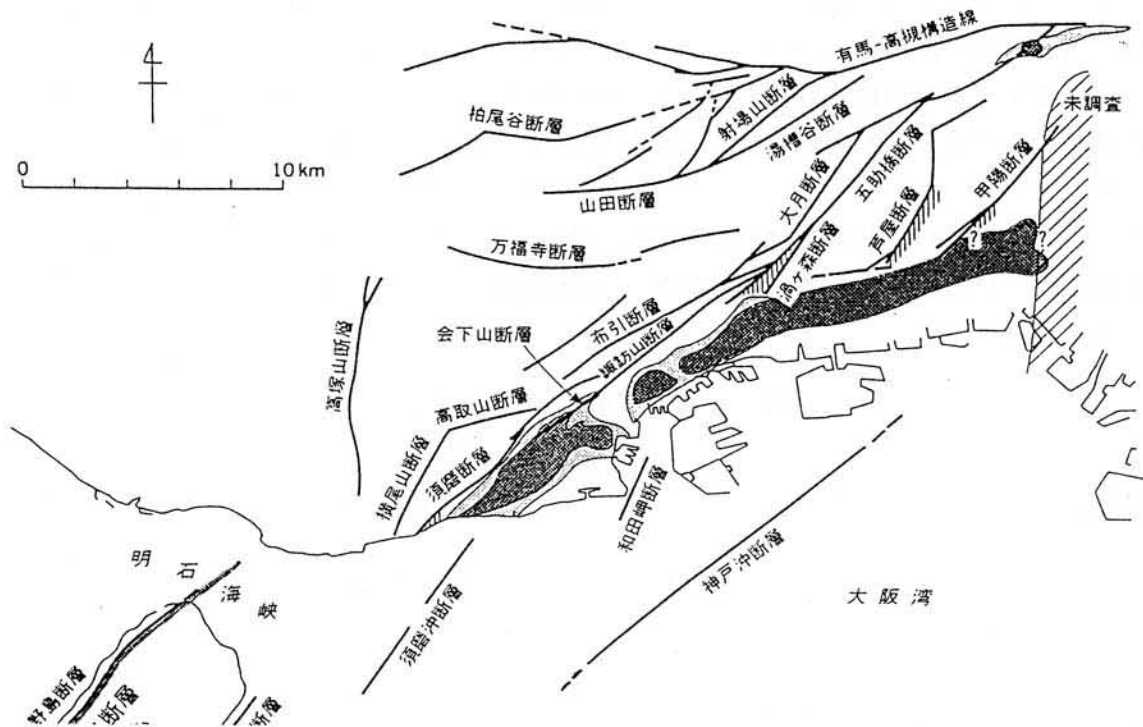


図3.1.1.2 神戸市周辺の活断層 (嶋本, 1995)

3. 1. 2 神戸及び周辺地域の地形・地質・地盤

神戸市は山地部を除くと、山麓扇状地、海岸低地、そして埋立地の3つに大きく分けることができる。中央区から東側に存在する神戸を南北に流れる中小河川は六甲山地から大量の礫質土を運び、その流域には玉石や礫を厚く堆積させている。この部分が山麓扇状地である。地表の傾斜が大きいのがその特徴である。図3.1.2.1に神戸市中心部の表層地形を示す。斜線のハッチで示しているのは前述の砂礫・玉石が厚く堆積している部分である。各河川周辺に広く発達していることが分かる。(土質工学会「関西地盤1992」より)

この図中東西に長い一点鎖線で示すのは、縄文海岸線と呼ばれるもので、斜線で示した砂礫・玉石の堆積がこの線を境に止まっていることが分かる。この線は文字通り、数千年前の海岸線である。この線の海側は、その後現在に至るまで海成粘性土層が厚く堆積して、海岸低地を形成した。さらに同図中濃い緑色で示しているのは埋め立てにより人工的に作られた土地である。縄文海岸線は中央区から東灘区では海岸線に近く、兵庫区から須磨区にかけては、現海岸線からやや距離を置いて存在する。西側地域(兵庫区～須磨区)の広い海岸低地帯は湊川の河川流出土砂と瀬戸内海の潮流による流砂により形成された三角州である。

この縄文海岸線は神戸地域の南北地盤断面にも表れている。地盤ボーリング資料などではこの線から沖積粘土層が厚くなる。図3.1.2.2、図3.1.2.3に主要地域の南北断面を示す。これらの4断面より神戸市中心部は南北方向に同様の地盤断面のパターンを示す。すなわち、山麓扇状地から海岸低地に移るに従い、洪積層から沖積層へ地表部の地質が変わる。JR三宮駅を通る南北断面では、JR三宮駅あたりを境に沖積層が海岸に向かって厚くなる。三宮から東の灘区、東灘区ではこの地層の変わる地点が阪神電鉄や阪神高速3号線あたりまで南下している。

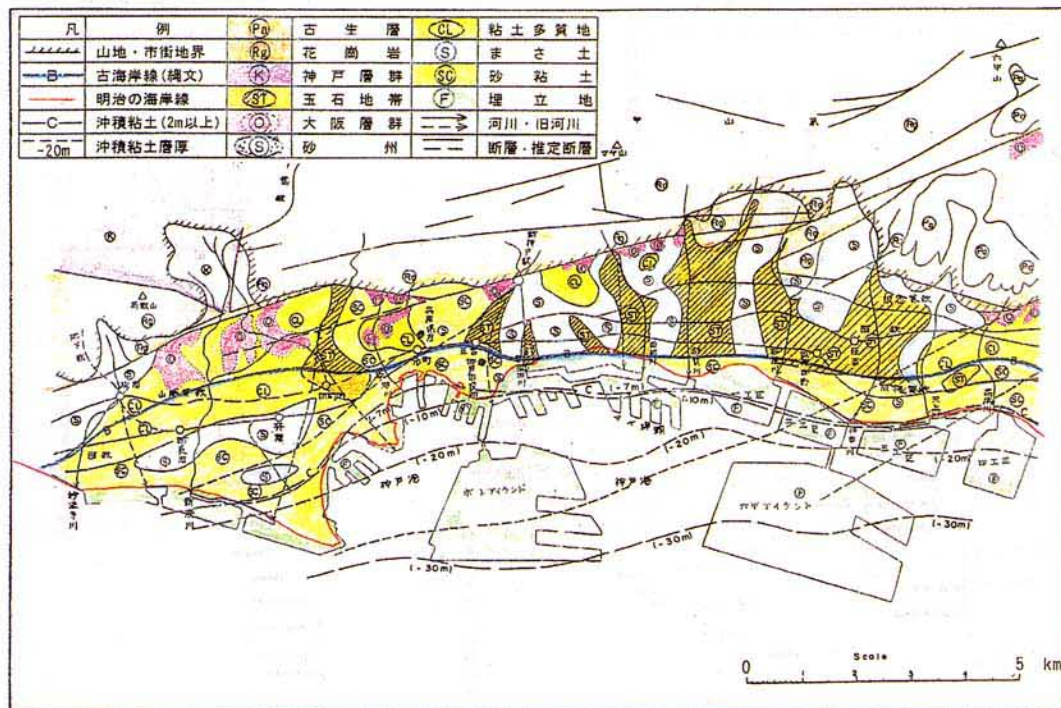


図3.1.2.1 神戸市街地域の地盤概要図 (岩見 義男 他, 1982)

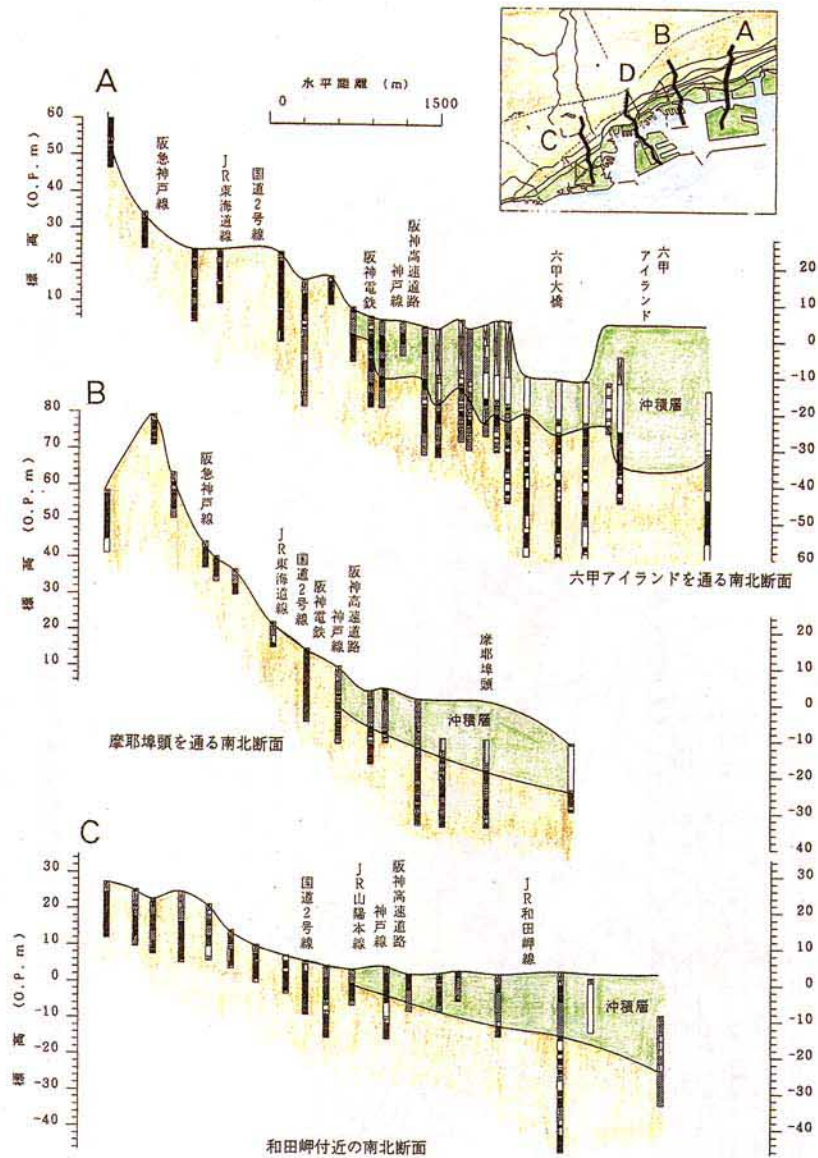


図3.1.2.2 各地域を通る南北断面
(土質工学会関西支部, 「関西地盤1992」より)

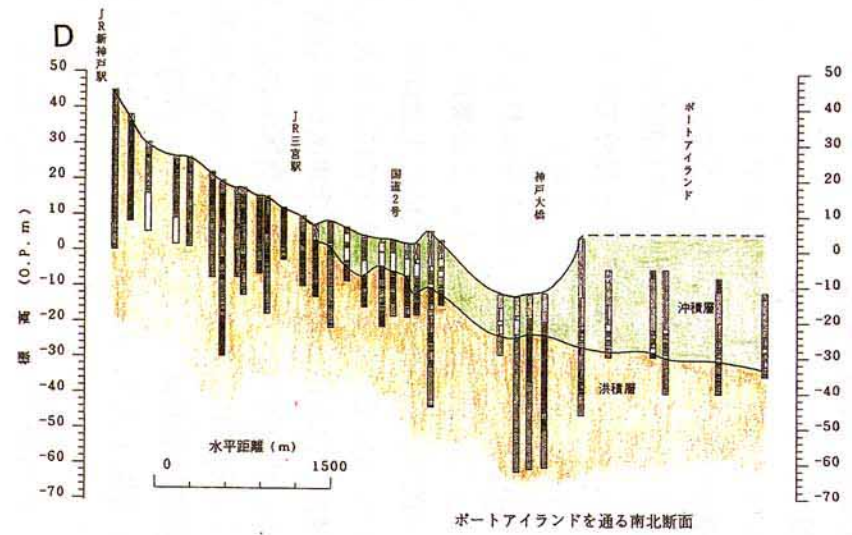


図3.1.2.3 ポートアイランドを通る南北断面
(土質工学会関西支部, 「関西地盤1992」より)

また、J R神戸駅から和田岬に至る断面ではJ R線からやや北側にこの境界が移っている。後述するように被害の大きかった地域は東側（灘区、東灘区）では山麓扇状地に、また西側（中央区、兵庫区、長田区）では海岸低地部に集中している。

神戸市の地形のもう一つの特徴として、中小河川が多いことが挙げられよう。またそのうちのいくつかの河川は近代になり人工的に場所を移動した。例えば、現在の神戸市の中心地、三宮駅を南北に縦断し、ポートアイランドと新神戸駅を結ぶフラワーロードは、旧生田川を埋め立てた跡に作られた市街地であり、その下流域での水害を回避する目的で、新神戸駅地点を起点として東側に付け替えられた。また、西地区にある湊川も現在の川の流れは昔のものと大幅に変えられている。旧湊川は現在の湊川公園から新開地および東川崎町を經由して海に注いでいた。現在は湊川公園北部から新長田駅東でJ Rと交差しそのまま南下して海に注いでいる。

このような土地改変によっていわゆる旧河道となった地域では、軟弱な未固結の土壌が堆積し、周辺地盤との増幅特性の差異によって、地震被害が大きくなったという過去の事例は多い。今回も三宮地区での壊滅的被害について旧生田川の存在を考慮する必要がある。

3. 1. 3 被害の分布と地盤条件

気象庁は地震直後、神戸・洲本を震度6として発表した。その後の現地調査により、神戸市・須磨区、長田区、兵庫区、中央区、灘区、東灘区、芦屋市、西宮市および淡路島、宝塚市の一部に震度7を適用した。昭和23年の福井地震後に設定された震度7が初めて適用された。

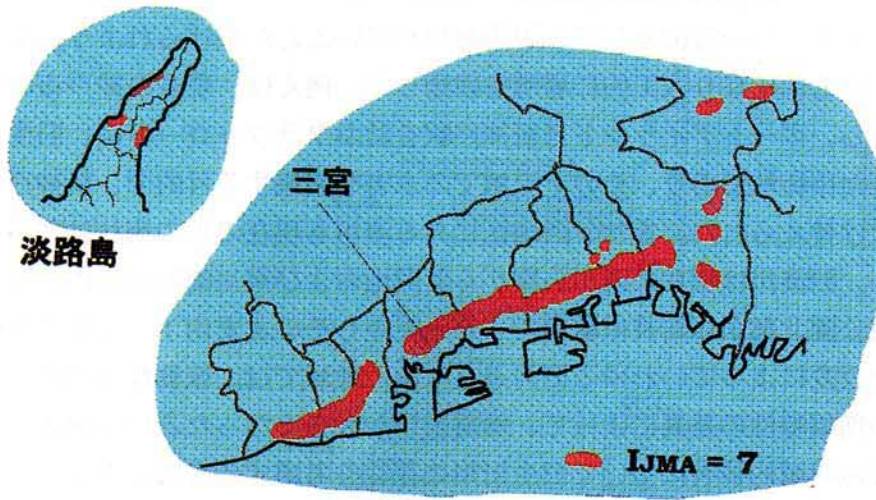
図3.1.3.1に、気象庁が震度7とした地域を示す。この地域は、神戸市の現海岸線と六甲山麓のちょうど中間に位置し東西に帯状に広がっている。この地帯は、俗に震度7の「震災の帯」と呼ばれている。

中央開発（株）は詳細な現地調査により、最も被害の激しかった震度7の地域を、家屋被害率50%以上およびコンクリート建物の倒壊が多い区域と、それよりはやや被害程度の小さい区域とに分けて図示している（中央開発、1995）。それを図3.1.3.2に示す。この図によると、震度7でも被害のきわめて大きかった地域は、鷹取・新長田駅周辺、兵庫駅北部、元町から三宮地区、灘、六甲道、摂津本山、芦屋駅周辺とその西側地域である。

これと先述の地盤・地形との関連性をみると、J R神戸駅以西の激震地域は、湊川流域およびJ R鷹取、新長田周辺の軟弱地盤地帯である。

三宮地域の激甚被害地域は、前述のように旧生田川の河道を中心に広がっている。

灘駅から芦屋駅までの激震地帯はJ R線の周辺に存在する。この地域の被害は西側地域とは逆に海岸低地よりも山側で生じている。被害要因として地形的な共通点は考えられるが、そこでの震動がどうして他の地域よりも大きかったかについては地下深所での入力地震動の性質と地盤増幅特性の両面から検討する必要がある。



震災の帯

図3.1.3.1 気象庁が発表した震度7の地域
(資料：気象庁地震火山部)

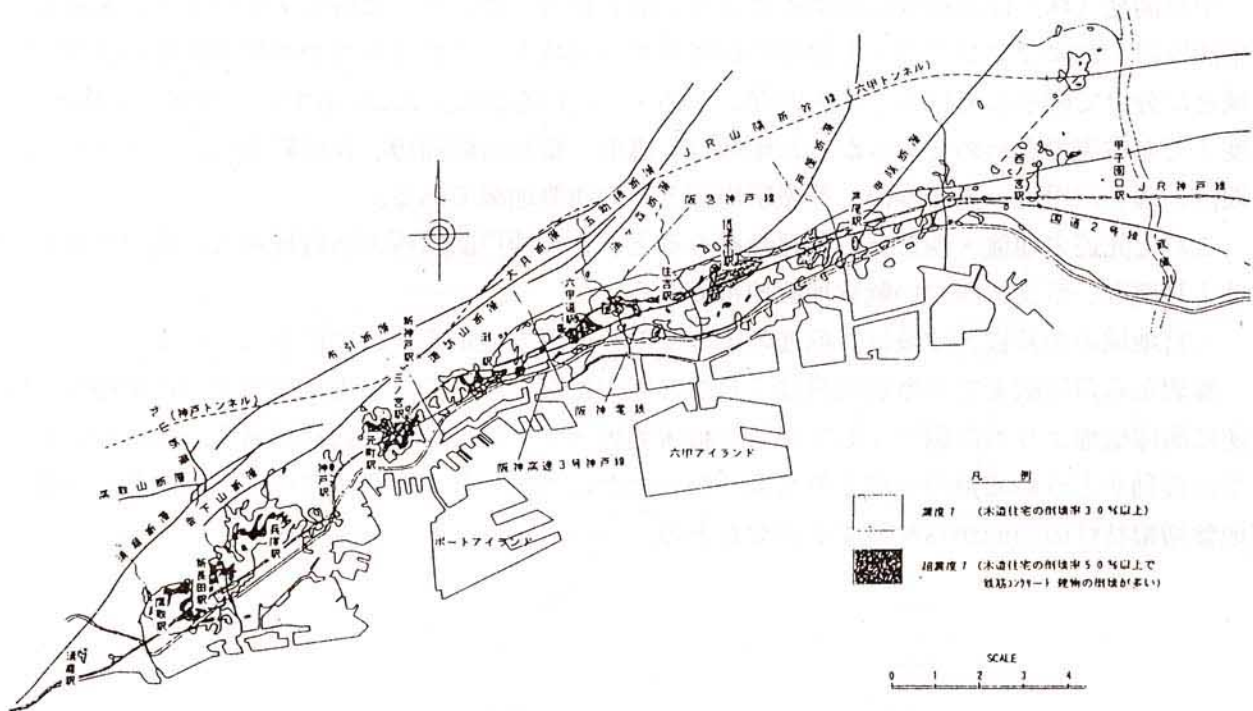


図3.1.3.2 現地の詳細調査による被災度の分類 (中央開発、1995)

3. 1. 4 地震記録

関西では地震が少ないといった、根拠に乏しい認識が従前よりあったことは否定できない。そのため、記録を得る可能性が小さい強震観測の事例は東京などと比べて非常に少ない。しかしながら、神戸市は大都市であるので、少ないながらもいくつかの地点には地震計が設置されていた。

地元の各電鉄会社（阪急、阪神、神戸高速、山陽、地下鉄）では運転指令所に地震計（簡易なもの）を設置していたが、想定していたものより実際の揺れが遥かに大きかったために、軒並み振り切れた。今回の地震では、私鉄による正確な記録は一部を除いてない。

今回の地震では、関西電力、大阪ガス、関西地震観測研究協議会、運輸省港湾技研、阪神高速道路公団、近畿地建、神戸市、NTT、JR、各建設会社などが強震計を設置していた。

これらの記録は、単一機関により一元的に管理されているわけではないので、今回の地震による地震動の特徴を総合的に検討するためには、各機関の独自検討結果やデータの公開（開示）を待たざるを得ない。最近各機関の観測の結果が次々に公表され各地の揺れの様相が明らかになりつつある。

本報告では、壊滅的被害を蒙った神戸市から尼崎市、宝塚市までの範囲を重点的に検討している。ただし地震動記録の数としては、建築物への強震計の設置が盛んな大阪の方が多い。

表3.1.4.1には、各地点で観測された記録の最大加速度を示した。また、最大速度、最大変位については、デジタル値を入手できたものについてはそれを積分して得られた値を、その他については公表されている場合にその値をそのまま転記している。

さらに、最大加速度値、最大速度値（水平、上下）についてその分布を図3.1.4.1、図3.1.4.2に示す。尼崎市を除いて、神戸から宝塚までの範囲で、現時点までに記録が存在することが確認されているのはこの両図に示した地点である。

それぞれの地震記録の特徴を以下に記述する。（各観測点の後のアルファベット3文字は図中の地点名と対応している。3文字による標記は本報告で便宜的に行っているもので、データの保有機関がつけているものと必ずしも一致していない。）

（1）気象台での地震記録

神戸海洋気象台（JMA）

今回の地震で公開されている唯一の記録は、気象庁神戸海洋気象台の87型強震計によるものである。図3.1.4.3、図3.1.4.4に加速度および速度記録を示す。南北成分の最大加速度値が818ガル（ cm/sec^2 ）あり、気象庁の記録としては1993年釧路沖地震で釧路地方気象台で得られた922ガルに次ぐものである。最大速度はやはり南北成分が大きく90カイン（ cm/sec ）となった。神戸海洋気象台は、会下山断層直上にあるが、震度7の領域には入っていない。気象台庁舎自体は倒壊は免れたものの大きな損傷を受けている。また神戸海洋気象台は約20メートルの丘の上にある。このようなことから、地震記録の特性にこの地形が影響していると考えられる。建築研究所が行った現地での微動測定によると、地震計の設置された台と丘のふもとでの同時測定結果から、両者間に振幅の違いがみられ、本震記録にも地形の影響が入っている可能性を示唆している。気象台周辺は、瓦の落下等の被害が広く認められるが、倒壊などの激しいレベル

表3.1.4.1 兵庫県南部地震強震記録最大値

観測地点 (機関)	成分	加速度(# ² / s ²)	最大振幅 速度(cm/s)	変位(cm)	備考
1. 関西電力					
①新神戸変電所(SSS)					
・神戸大学に近い	N90E	584.3	76.8	16.26	
・風化土	N00E	510.7	63.7	22.36	
・灘区土山町	UD	495.3	25.6	4.94	
②総合技術研究所(KRI)					
・沖積層	N90E	-	-	-	* (検証中)
・尼崎市若王子	N00E	298.6	36.8	13.75	
	UD	205.0	20.5	5.76	
③尼崎第三発電所(AMP3)					
・埋立地先端	N90E	353.6	50.5	18.63	
・尼崎市末広町	N00E	226.6	45.0	21.44	
	UD	373.4	19.8	6.54	
2. 大阪ガス					
①葦合(FKI)					
	N120W	686.5	56.9	19.29	
	N30W	802.0	121.3	43.89	
②西宮(NSN)					
		792.0			・合成値
3. 運輸省港湾技研					
①神戸港(KBH)					
	E43 N	204.8	33.9	12.36	
	N43W	502.0	100.4	37.91	*
	UD	282.8	31.9	11.05	
②尼崎港(AMH)					
	N06W	321.2			
	E06N	472.0			
	UD	310.8			
4. 神戸市開発局					
①神戸ポートアイランド(POI)					
・島に入った地点	GL-83m_NS	678.8	65.4	24.59	
・地中4点(12ch)	GL-83m_EW	302.6	28.1	11.66	
	GL-83m_UD	186.7	28.0	12.00	
	GL-32m_NS	543.6	63.2	27.05	
	GL-32m_EW	461.7	57.3	19.90	
	GL-32m_UD	200.0	26.8	11.32	
	GL-16m_NS	564.9	74.4	30.72	
	GL-16m_EW	543.2	52.5	22.78	
	GL-16m_UD	789.2	32.3	16.83	
	GL_NS	341.0	85.4	37.38	
	GL_EW	284.1	50.8	27.67	
	GL_UD	555.9	62.0	26.32	
5. 気象庁					
①神戸海洋気象台(JMA)					
	EW	616.6	74.2	19.12	
	NS	817.2	90.2	20.20	
	UD	332.8	39.9	10.20	
6. 土木研究所 (阪神高速)					
①東神戸大橋(EKB)					
・深江側の地盤	GL-33m S78W	303.8	65.7	22.28	
・埋立地	GL-33m N12W	445.9	72.8	29.47	
	GL S78W	280.7	81.2	43.19	
	GL N12W	327.3	86.6	40.20	
	GL UD	394.8	34.8	13.63	
②猪名川(INA)					
	GL-2m NS	421.6	39.8	8.36	
	GL-2m EW	417.3	40.0	10.36	
	GL-2m UD	361.3	20.2	5.14	
	GL-30m NS	200.4	24.3	5.59	

表3.1.4.1 兵庫県南部地震強震記録最大値

	GL-30m EW	185.3	28.6	10.16	
	GL-30m UD	151.9	20.1	5.21	
③尼崎高架橋(AMV)	HA	264.6	51.4	13.52	
	UD	324.0	23.2	3.14	
	HB	293.9	50.0	12.59	
7. NTT					
①神戸駅前ビル(NTT)	N39E	153.5	25.2	11.37	
・建物内_地下3階	N309E	330.7	85.9	27.52	
	UD	169.3	19.5	7.47	
8. 松村組技研(北区、MTR)					
・GL-15m	NS	208.4	21.8	4.87	
	EW	213.6	36.2	8.89	
	UD	166.2	10.1	2.35	
・GL-1.5 m	NS	417.1	29.4	5.71	
	EW	526.4	49.4	9.35	
	UD	418.8	13.4	2.31	
9. 竹中工務店					
①新神戸Aビル(SKB2)	NS	223.2	30.6		
	EW	208.2	24.7		
	UD	291.9	47.1		
10. 住宅・都市整備公団					
①新長田駅前市街地住宅(NGT)	NS	315.3			
・地下1階	EW	122.0			
	UD	108.0			
11. JR					
①西明石(AKS)	NS	397.0	39.2	7.57	
(新幹線)	EW	381.0	33.7	7.67	
	UD	319.0	18.0	3.57	
②鷹取(ŕKT)	NS	642.0	138.0	42.00	
(在来線)	EW	666.0	131.0	33.90	
	UD	290.0	20.0	5.69	
③加古川(KGW)	NS	240.0	22.8	6.04	
(在来線)	EW	313.0	27.9	8.11	
	UD	168.0	15.5	2.59	
④宝塚(TKR)	NS	694.0	75.0	24.60	
(在来線)	EW	587.0	80.0	26.50	
	UD	410.0	35.0	12.50	
⑤新大阪(SOS)	NS	204.0	45.3	14.80	
(在来線)	EW	228.0	38.3	10.80	
	UD	188.0	12.9	4.21	
⑥新大阪変電所(SOSs)	NS	221.0	34.4	9.17	
(在来線)	EW	229.0	25.2	6.25	
	UD	62.0	6.3	1.93	
・JR地震情報No.23による					
12. 関西地震観測研究協議会					
①六甲(KBU)	NS	269.8	55.1		
・神戸大学工学部	EW	305.3	31.0		
	UD	-	-		検証中
②東灘(KOB)	NS	421.0	>40		*

表3.1.4.1 兵庫県南部地震強震記録最大値

・神戸市立本山第一小学校	EW	774.9	>40		*
	UD	379.3	>40		*
③尼崎(AMT)	NS	271.4	>40		*
・尼崎市立竹谷小学校	EW	321.5	>40		*
	UD	327.9	26.1		
・加速度値は速度記録の微分による。					
・オーバスケール記録(*で示す)の加速度値は参考値。					
・網掛けした部分は、建築研究所で計算した値である。					
・速度、加速を求めるに際して、5秒以上を漸次カットするハイパスフィルターを使用。					
NS：南北方向成分					
EW：東西方向成分					
UD：上下方向成分					
GL-83は地表面下83メートルの記録を意味する。					
GLは地表面での記録を意味する。					
N120Wは北から反時計回りに120度方向を意味している。					

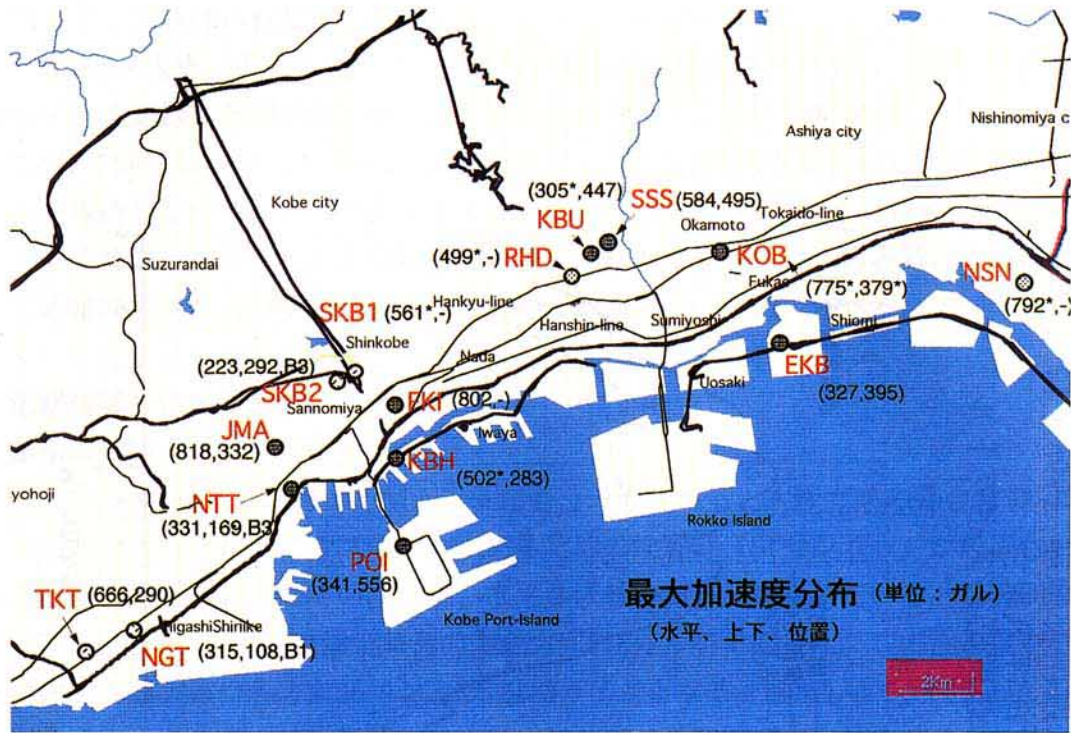


図 3.1.4.1 神戸周辺地域における最大加速度分布 (水平、上下)

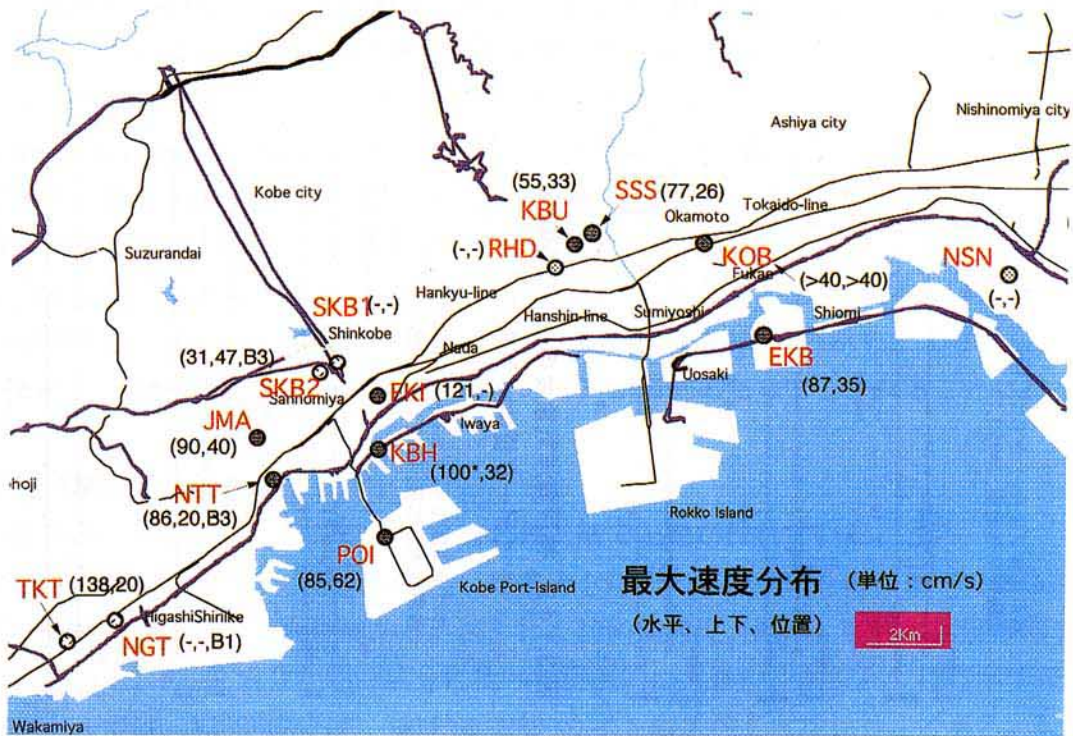


図 3.1.4.2 神戸周辺地域における最大速度分布 (水平、上下)

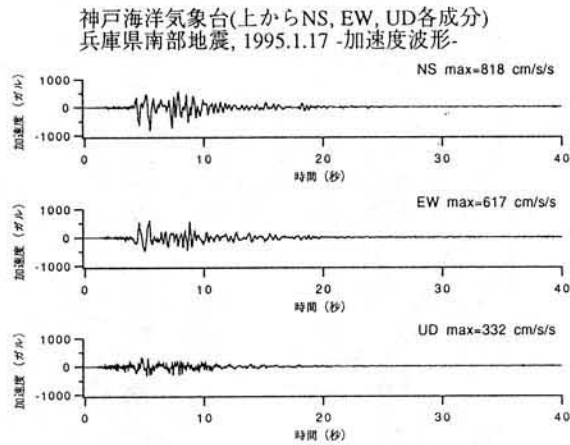


図 3.1.4.3 神戸海洋気象台の加速度記録
(データ提供：気象庁)

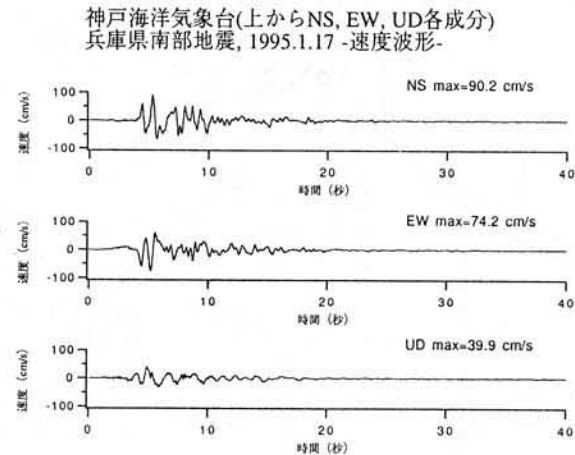


図 3.1.4.4 神戸海洋気象台の速度記録
(データ提供：気象庁)

兵庫県南部地震, 1995.1.17
神戸海洋気象台
擬似速度応答スペクトル

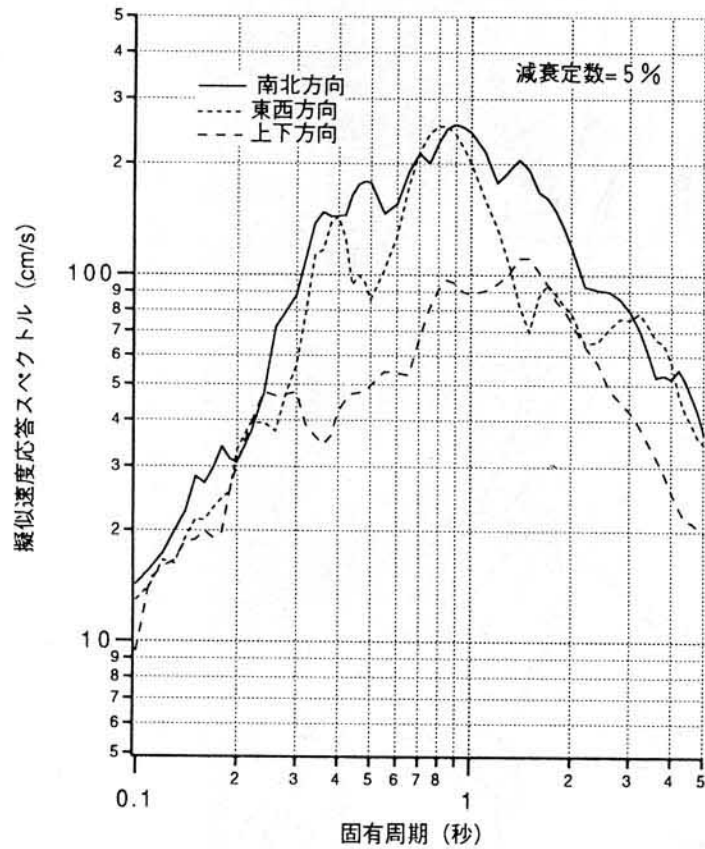


図 3.1.4.5 神戸海洋気象台での記録の擬似速度応答スペクトル
(データ提供：気象庁)

の被害はあまり見受けられない。

図3.1.4.5は、水平、上下3成分の5%減衰の擬似速度応答スペクトル（弾性）を示す。最大速度90カインを記録した南北成分は周期0.9秒で250カインのレベルを保持しており、東西成分も周期0.8秒で同様のレベルを保持している。また、南北成分は周期1.4~1.5秒でも200カインのレベルを保持している。上下動成分での周期1.0~1.5秒は約100カインの大きさがある。上記のスペクトル値は、後で示されるように既往の代表的地震記録に比べると特に0.8秒以上の長周期成分で非常に大きいものであり、これについては次項から詳細に述べる。

（2）激震地域での地震記録

葺合営業所（大阪ガス、FKI）

加速度800ガルを超える記録はJMA以外にもう一カ所ある。大阪ガスの葺合営業所の地盤上には、地震のような非常時にガス供給を止めるための地震計（SIセンサー）が設置されていた。まだ地震計の方向が確認されていないが、水平2成分の記録が得られている。2方向合成の最大値は833ガルとなり、神戸海洋気象台の南北方向818ガルを上回った。この加速度記録を積分した速度振幅の最大値は各方向56.9および121.3カインとなる。図3.1.4.6、図3.1.4.7に加速度、速度波形を示す。この最大速度振幅レベルは、わが国の強震観測史上最大級のものである。このような大きな揺れであったが、営業所建物には大きな被害がなかったと聞いている。ちなみに、この地点は震度7の帯の中にあるものの、その中では被害がやや軽微な地域に属している。（中央開発、1995）

図3.1.4.8に擬似速度応答スペクトルを示す。Y方向の記録は、周期1.1~1.2秒で350カインのレベルを示している。ところが直交（X）方向は130カインのレベルしかない。つまり大きな方向性を持っている。図3.1.4.9は神戸海洋気象台の記録と比較したものである。Y方向は1秒以上の長い周期で大きくJMAの南北成分を凌いでいる。

800ガルに近い記録はもう1カ所あり、同じく大阪ガスが設置している西宮供給所（今津）の記録である。この記録には時刻歴のデジタル値がなく、残っているのは水平方向の合成最大加速度792ガルのみである。しかしながら、この値は、観測記録がない西宮地区の地震動推定のための貴重なものであり、少なくとも西宮あたりまでは神戸中心部と同レベルの地動があったという証拠となる。これより東部の尼崎地域での記録は表3.1.4.1に示したように最大振幅レベルが下がる。これは震度7の帯の地域（震災の帯）が西宮あたりでとぎれることに符合している。

NTT神戸駅前ビル（NTT）

神戸駅の東にあるこのビルでは地下3階と最上階で記録が採れている。地下3階での記録のためか、最大加速度、速度ともに前の2地点のものに比べて大きくないが、ここで注目すべきはその方向性にある。図3.1.4.10に加速度、図3.1.4.11に速度波形を示す。いずれの場合も、N309E成分がN39E成分に比べて圧倒的に大きい。図3.1.4.12に示す擬似速度応答スペクトルでは、N309E成分は1.3秒付近で200カインのスペクトルレベルである。1.5秒程度までN39E成分と上下成分はほぼ同様なレベルにある。

この建物のある地点はJMAと同様に震度7の中に入っていない。

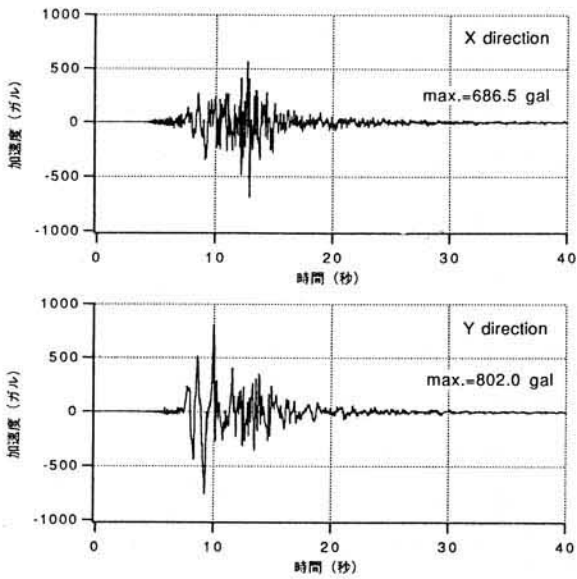


図3.1.4.6 葺合での加速度記録
(データ提供：大阪ガス (株))

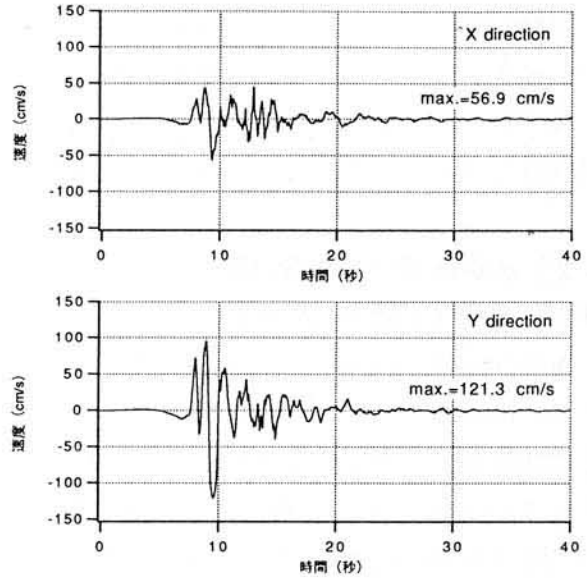


図3.1.4.7 葺合での速度波形
(データ提供：大阪ガス (株))

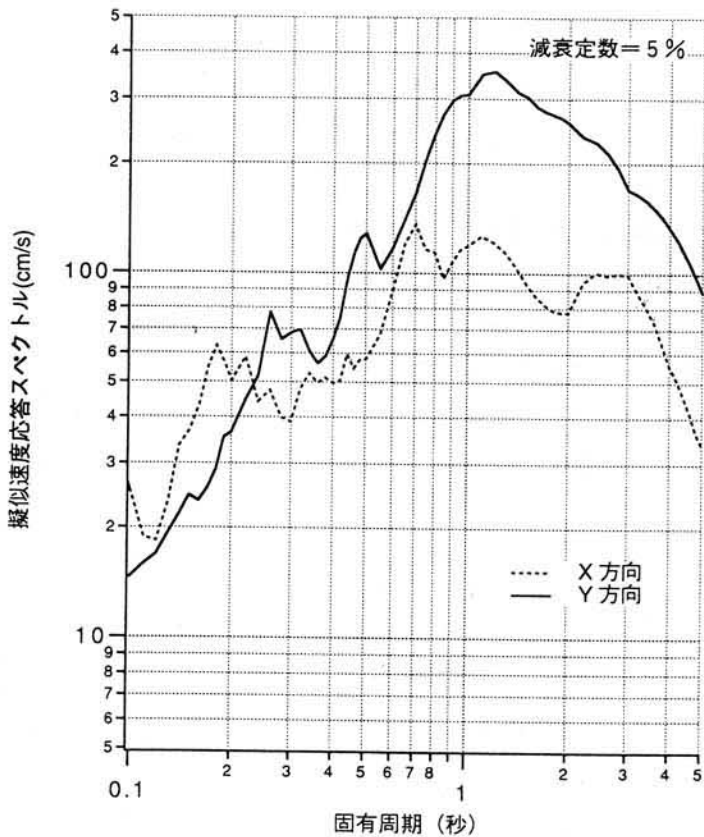


図3.1.4.8 葺合記録の擬似速度応答スペクトル
(データ提供：大阪ガス (株))

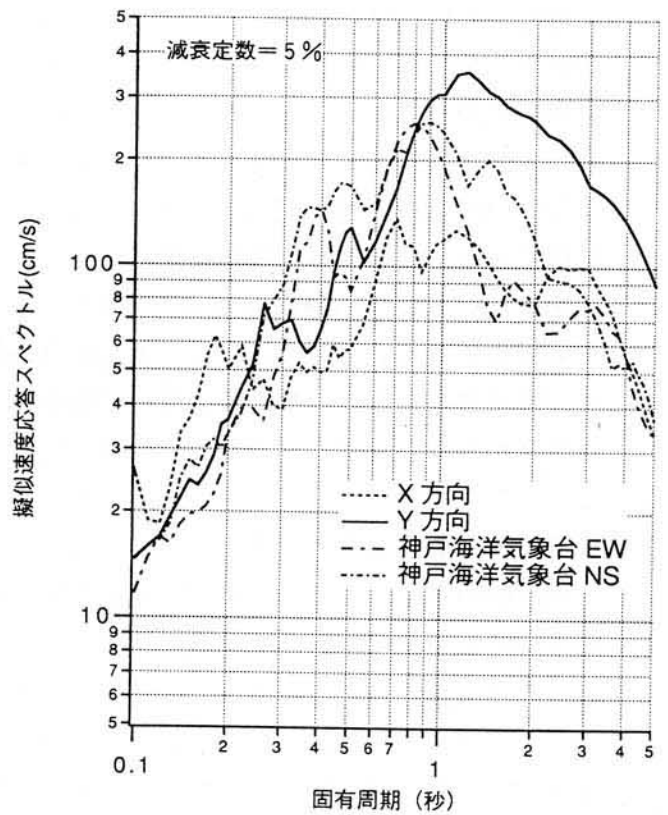


図3.1.4.9 葺合記録と神戸海洋気象台記録の
応答スペクトルの比較
(データ提供：大阪ガス (株), 気象庁)

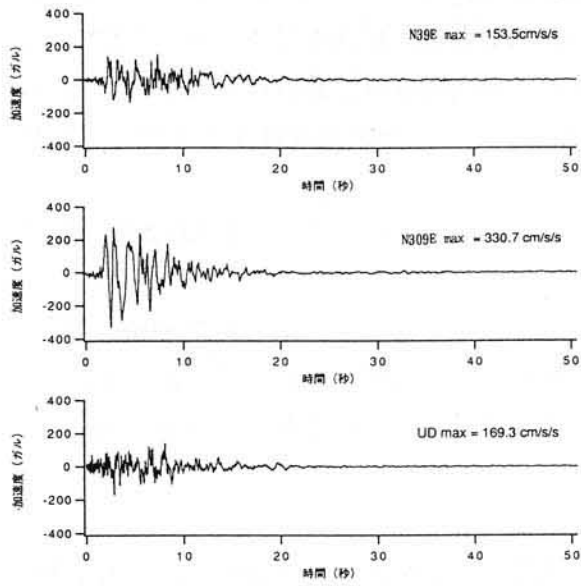


図 3.1.4.10 NTTでの加速度記録
(データ提供: NTTファシティーズ)

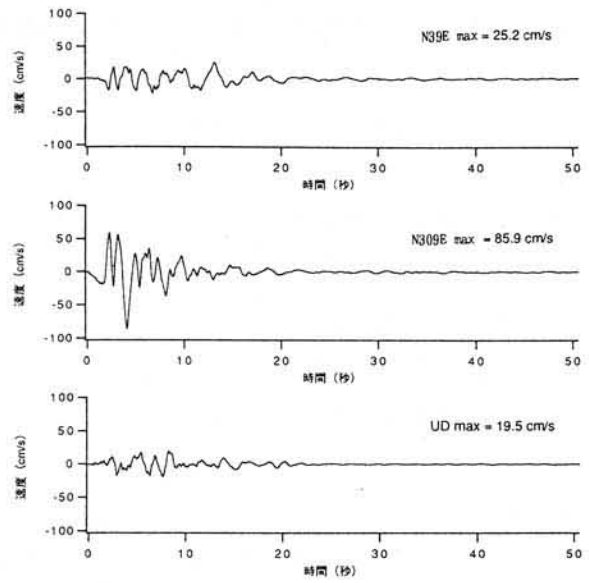


図 3.1.4.11 NTTでの速度波形
(データ提供: NTTファシティーズ)

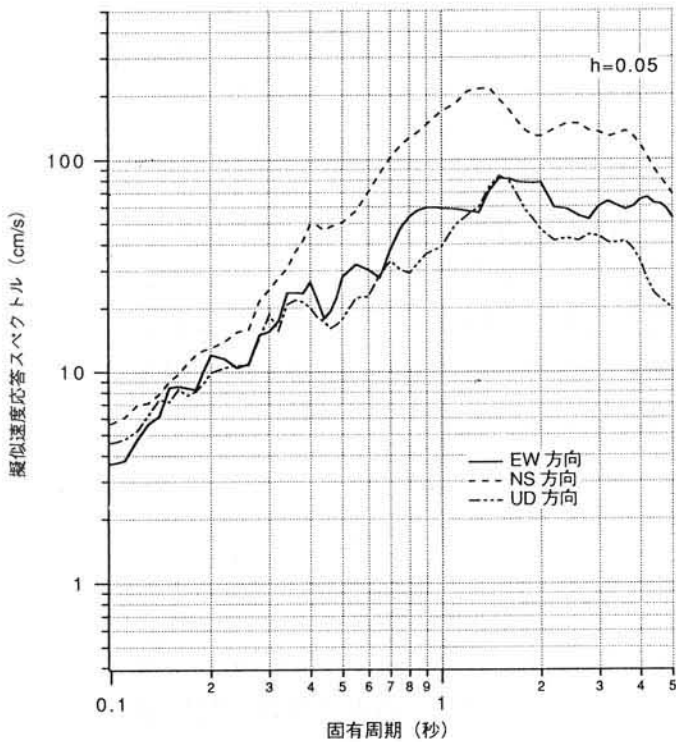


図 3.1.4.12 NTT記録の擬似速度応答スペクトル
(データ提供: NTTファシティーズ)

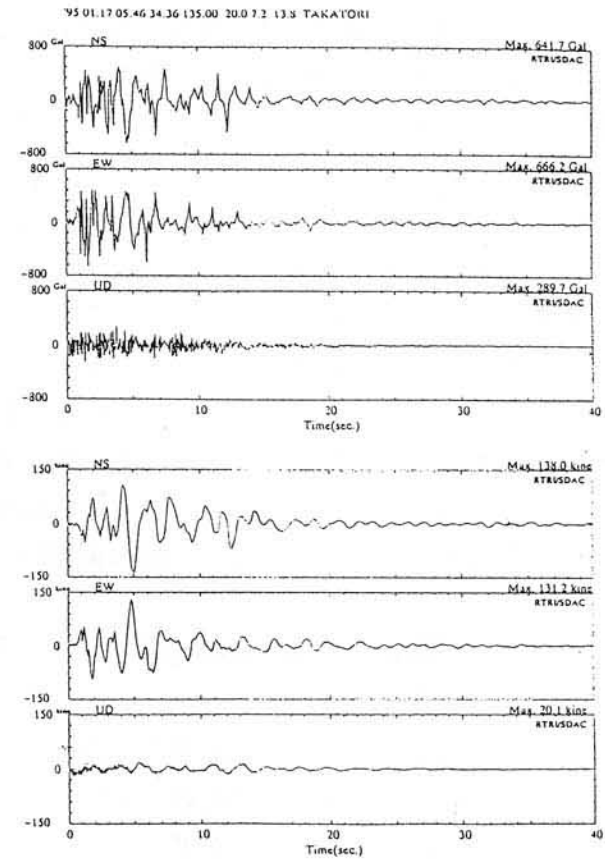


図 3.1.4.13 JR 蕨取駅の観測記録
(上段: 加速度、下段: 速度)
(JR地震情報 No.23 より)

J R鷹取駅 (TKT)

今回の地震では、J Rの施設で数多くの強震記録が得られている。現時点ではデジタル記録が公開されていないので、ここでは、J R地震情報No. 23に基づいてその特性をみることにする。J Rの強震記録の中で最も大きいのは、J R鷹取駅の記録である。加速度は両方向ともに600ガルを超えている。図3. 1. 4. 13に加速度波形を示す。また、最大速度は、葺合の記録を上回る今回の記録中最大の130カインを両方向で超えるものである。逆に上下の速度は小さく20カイン程度にしかならない。

擬似速度応答スペクトルについては、前述の報告書中の図から読みとると、1. 3および2秒で400カインレベルかあるいはそれに近い値を示している。

地盤資料でみる限り、兵庫・長田各区のJ R沿いの地盤はそれほど良くなく沖積地盤が厚く堆積しているところも多い。また、鷹取地点では、地盤液状化の可能性があり、図3. 1. 4. 13に示した加速度波形の、特に南北成分記録におけるパルス状の波形にその痕跡らしきものをみることができる。

J R宝塚駅 (TKR)

宝塚駅では、水平加速度で600~700ガル、水平速度振幅で75~80カインを記録しており、神戸からやや離れてはいるものの、それに劣らない地動レベルである。震度7とされた宝塚駅やその東部の中山寺周辺は、震災の帯の中でも飛び地のような位置にある。どの断層が動いたかが定かではない現段階では、この宝塚駅の記録の大きさの原因を特定することは難しい。宝塚は、今回の地震の震源とされる断層の走向のほぼ北東方向延長上にあり、そのことがこのような大きな振幅を生ぜしめたと考えられる。また地質図でみると宝塚、中山寺は武庫川兩岸の堆積層と北部の山地との境にありいわゆる盆地端の増幅で大きな地震動を生じたと考えられる。

擬似速度応答スペクトルのレベルは水平で0. 5~2秒で150カイン前後の値を示している。

(J R地震情報23) また、上下方向では同様の周期帯域で70~80カインのレベルを示しており、上下動としては非常に大きい。

神戸本山第一小学校 (KOB)

この記録は関西地震観測研究協議会が設置していた速度型強震計によるものである。図3. 1. 4. 14に速度波形を示す。ただし、今回の地震では水平、上下3成分ともにオーバスケールしている。この観測点は震度7の地域からわずかに外れていたが、記録としては相当大きなものである。各成分ともにオーバスケールしている時間が長く、実際の最大振幅は40カインを相当上回っていたと考えられる。特に上下動の振幅の大きさは注目に値する。

(3) 山麓丘陵地域(被害が比較的軽微であった地域)での地震記録

新神戸Aビル (SKB2)

新神戸駅の近くにあるホテル建築物の地下3階に強震計が設置されていた。水平動は被害程度と対応していて、被災地域の記録と比較して小さい。この地点の特徴は水平動に比して大きな上下動である。加速度および速度レベルで上下動が水平動を凌ぐ神戸市内では数少ない地点の一つである。上下方向の最大速度47カインは今回の記録中最大級である(ポートアイランド地表の上下成分のみがこれを上回る。ただし波形から判断して、本山小の記録がこれを上回っ

たことは確実である。)

擬似速度応答スペクトルは、JMAと比較するのがわかりやすい。文献(竹中工務店、1995)から引用して図3.1.4.15に示す。水平2成分は共にJMAの水平成分を大幅に下回っている。ところが、上下動スペクトルを比較すると周期0.9秒あたりでJMAと同等あるいは上回るレベルとなる。1.5秒あたりではJMAとは逆に大きく落ち込んでいる。

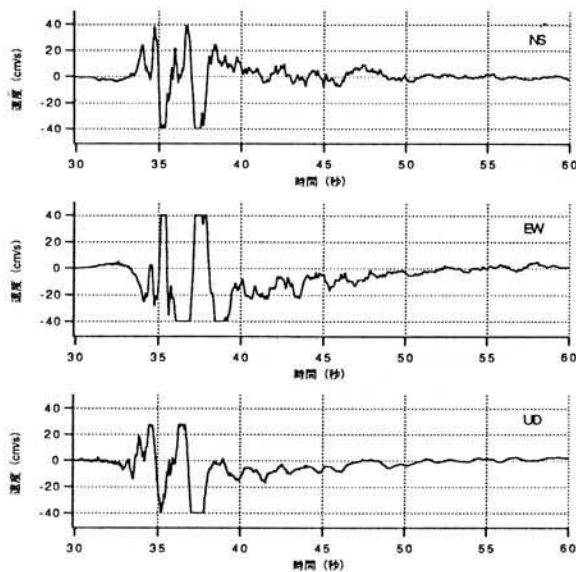


図3.1.4.14 神戸本山 (KOB) での速度記録
(データ提供：関西地震観測研究協議会)

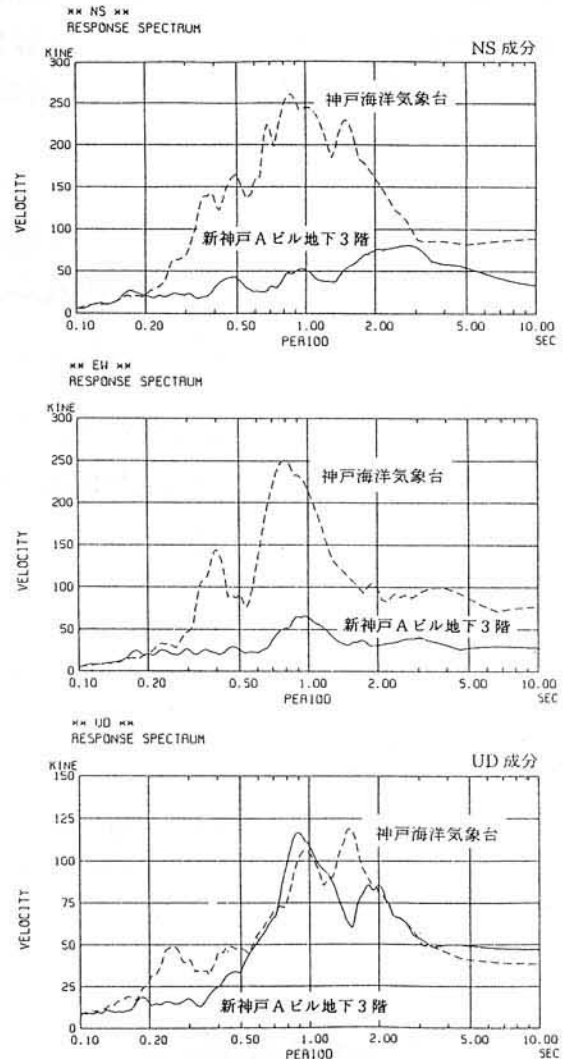


図3.1.4.15 新神戸Aビル記録とJMA記録の
上下動スペクトルの比
(株)竹中工務店、1995「阪神大震災調査報告」より

新神戸変電所 (関西電力、SSS)

山麓の急傾斜地にある変電所の地盤(風化土)上の記録で、後述の神戸大学キャンパスに近いところにある。

加速度は3成分ともに500~600ガルの大きな記録である。水平速度は64~77カインとなっている。1秒以下の性状に方向の違いがみられる。上下動は大きくない。

神戸大学工学部 (KBU)

この記録は、先述の神戸本山第一小学校 (KOB) と同様に関西地震観測研究協議会設置の速度型強震計の記録である。この観測所では3成分ともに正常に記録されており、水平で55カイン、上下で33カインである。図3.1.4.16に速度波形を示す。なお、上下動記録は補正が必要という注意書がある。風化した露頭岩盤上の観測点である。

六甲変電所 (阪急電鉄、RHD)

阪急電鉄の地震時の運転指令を行うための地震計が阪急神戸線六甲駅近傍に設置してあった。本震の水平最大加速度を499ガルとして記録している。これは簡易な地震計で、最大値のみを記録していくタイプである。したがって、時刻歴のデジタル記録はない。これも、また神戸大学キャンパスに近い場所である。

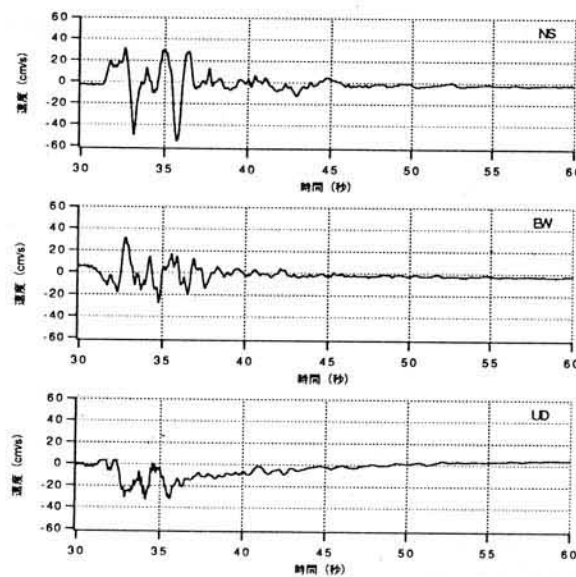


図 3.1.4.16 神戸大学工学部での速度記録
(データ提供：関西強震観測研究協議会)

(4) 海岸埋立地域での地震記録

神戸港湾事務所 (KBH)

この記録は、運輸省港湾技術研究所が管理しており、第三建設局工事事務所の地盤上で得られた地震記録である。水平2成分間の格差はここでも大きく、最大加速度の500ガル (僅かにオーバースケール)、200ガルの差が示すとおりいわゆる方向性 (指向性) はきわめて大きい。速度振幅でも片側は100カインに達しているのに対してもう片側は34カインに留まっている。

神戸ポートアイランド (POI)

ポートアイランドでは、神戸市開発局が地中・地表4深度での同時地震観測を行っている。前掲の表3.1.4.1から分かるように、水平成分では地表に近づくにつれて加速度振幅が減少する現象がみられる。これは液状化現象や大振幅入力地震動による地盤の剛性の急激な低下による

動的変形特性（増幅特性）の変化によって生じたものと解釈される。速度、変位では比率は小さいながら増幅する傾向はみられる。逆に上下動は地表付近で著しく増幅している。表層部分の地盤は液状化しているので、間隙水圧の上昇が上下動の大きな増幅に結びついている可能性がある。ただし、各記録での鋭いパルス状の波形についてはその成因を吟味する必要がある。図3.1.4.17に擬似速度応答スペクトルを示す。

東神戸大橋（EKB）

観測地点は、阪神高速3号線が数百メートルにわたって横倒しになった地点の南側約1.5kmの埋め立て地で深江浜町側の地盤上である。地表での記録は水平成分加速度最大値が300ガル前後であるのに対して、上下振幅は390ガルとそれを上回っている。速度最大振幅は水平80カインあまりで、上下速度振幅は水平の半分以下である。図3.1.4.18に擬似速度応答スペクトルを示す。図によると、一方向で約2.5秒で300カインを超えるレベルにある。同図中にあるGL-33mでの記録のスペクトルと比較すると、両方向ともに卓越周期が長周期側に移動している。これは地盤の非線形化により土の剛性が低下することによる長周期化であり、その様子がはっきりとみてとれる。

上記以外にも、沖積地盤あるいは埋め立て地盤での観測記録としては、尼崎市内に数カ所記録が得られているところがある。それらは関西電力総合研究所（若王子、KRI）、同第三火力発電所（末広町AMA3）、尼崎港湾工事事務所（運輸省管轄、AMH）、竹谷小学校（関西協議会、AMT）、尼崎高架橋（AMV）である。

以上が神戸市周辺で得られた強震記録の概要である。

なお、これらの観測を行っていた地点近傍において建築物の倒壊、大破が目立ったとは必ずしもいえないので、ここで示した強震記録のレベルの入力地震動としてそのまま適用できるかについては検討が必要である。

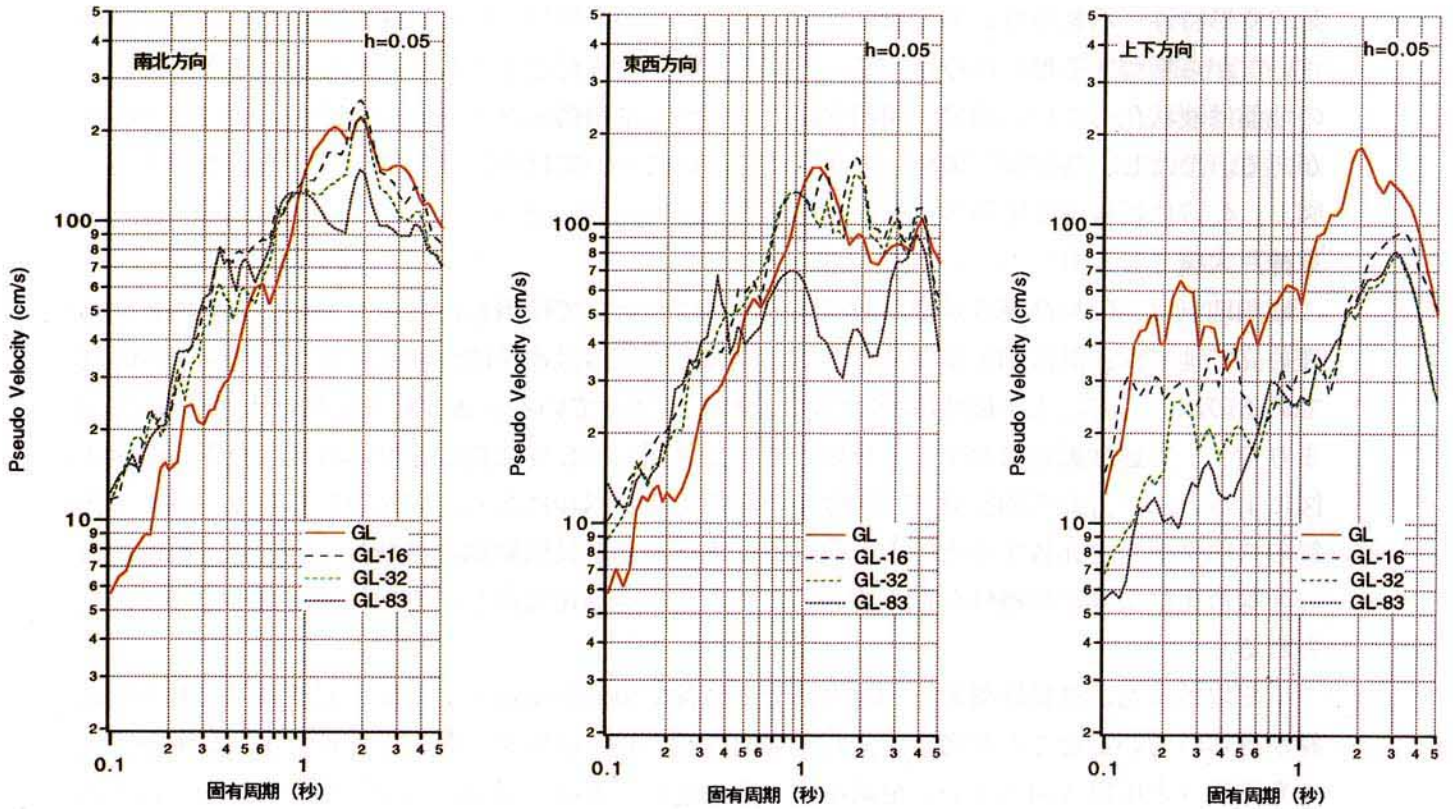


図3.1.4.17 ポートアイランドでの記録の擬似速度応答スペクトル
(データ提供：神戸市開発局、関西地震観測研究協議会)

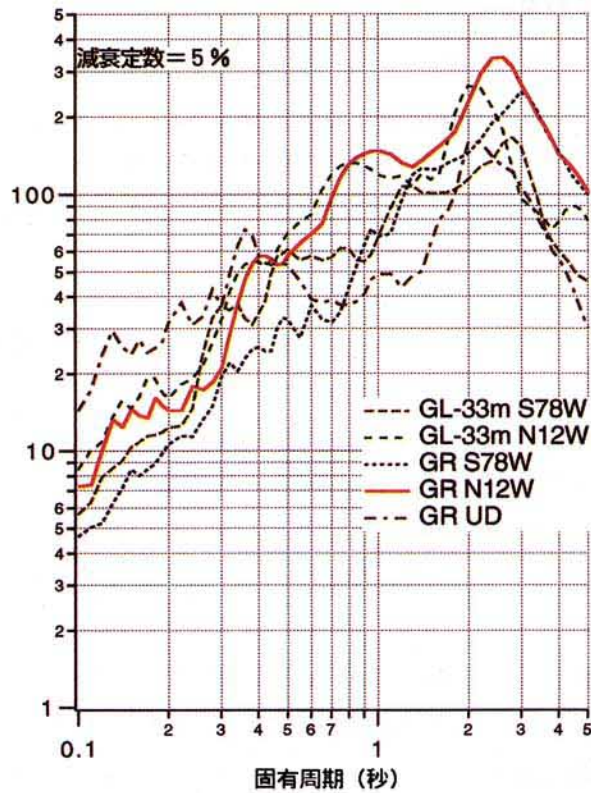


図3.1.4.18 東神戸大橋地震記録の
擬似速度応答スペクトル
(データ提供：阪神高速道路公団、
建設省 土木研究所)

3. 1. 5 地震記録の分析

(1) 応答スペクトルの比較

わが国では、震源近傍の大きい振幅を有する強震記録はいままでほとんどなかったので、昨年の同日に米国カリフォルニア州で起こったノースリッジ地震や、わが国で建物の耐震設計に広く使われている記録と比較してみた。水平動の擬似速度応答スペクトルの比較を図3. 1. 5. 1に示す。

比較の対象としたのは、ノースリッジ地震時には1.8Gの加速度を記録したタルザナ地点、最大速度振幅など今までに提案されている建物の破壊力を測るいくつかの指標において、今まで観測された地震記録中でも最大級といわれているシルマー郡立病院（オリーブ・ビューメディカルセンター）の駐車場（地盤上）の記録および、その少し北部にある、ニューホールの消防署の記録を選んだ。その他、1993年釧路沖（気象庁記録）、1994年三陸はるか沖の八戸市役所（地下一階、建築研究所記録）、1968年十勝沖地震の八戸港湾での記録、それにエルセントロ、タフトである。図から明らかなように、葺合の記録が0.8秒以上で最大の値を示す。シルマー、およびニューホールの各点の記録は1.5秒以上では海洋気象台の記録を上回るものの、葺合の記録には及ばない。

上下動についても、同様の比較を図3. 1. 5. 2に示す。葺合地点の記録には上下動記録がない。ここでは今回の地震を代表するものとして神戸海洋気象台とNTTの記録とを用いた。図を見て分かるように気象台の記録は0.6～2.5秒程度までの広い範囲で他を上回っている。1～2秒ではNTT以外の記録の2倍以上になっている。また、NTTの記録も1.5秒あたりで大きな値を示している。

さらに、前述のように新神戸のビル地下3階の上下動記録は周期0.9秒あたりで気象台の記録を上回ることを思い出すと今回の地震による三宮地域の揺れは上下動においても1秒弱～2秒の範囲で相当大きかったことがわかる。

(2) 地震動の方向性（指向性）

図3. 1. 5. 3～図3. 1. 5. 5に神戸海洋気象台、NTT、葺合の記録での粒子軌跡（パーティクルオービット：観測点の動きを平面上に表現したもの）を示す。

いずれの記録も南北に近い方向に大きく揺れていることがわかる。（葺合については方向が未確定であるが、方向性が強いことだけは分かる。）これは、震源がきわめて近かったことによるものと考えられる。

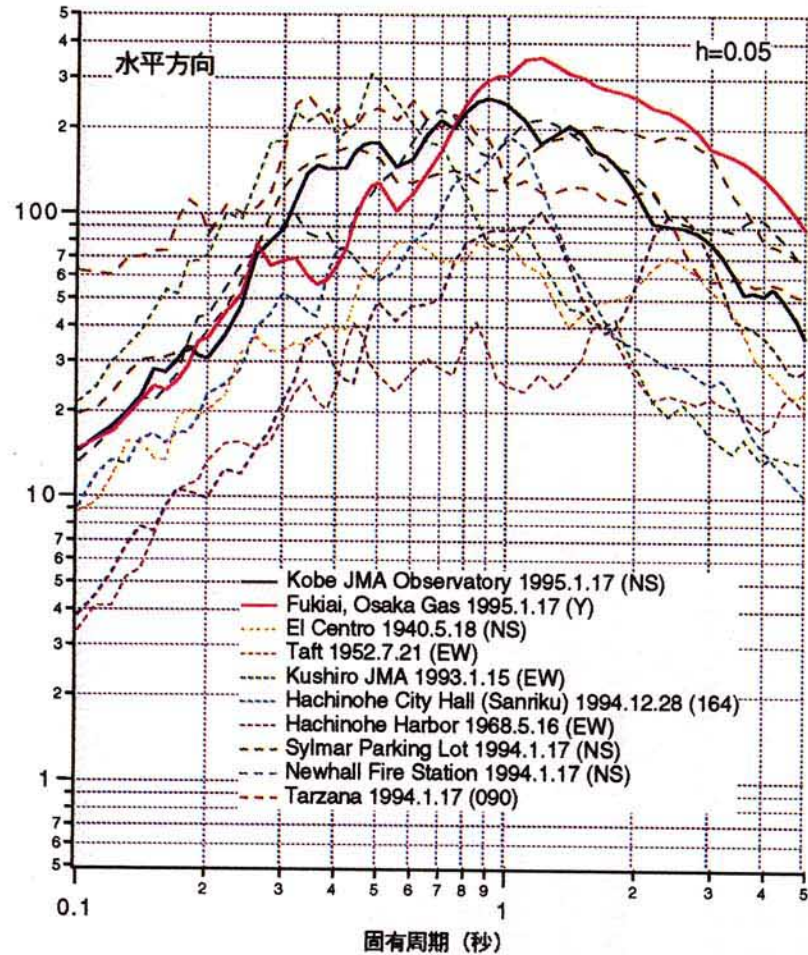


図3.1.5.1 既往大地震記録との比較（水平成分）
 (データ提供：気象庁，大阪ガス，運輸省港湾技術研究所，米国地質調査所，カリフォルニア州鉱山地質局，建設省建築研究所)

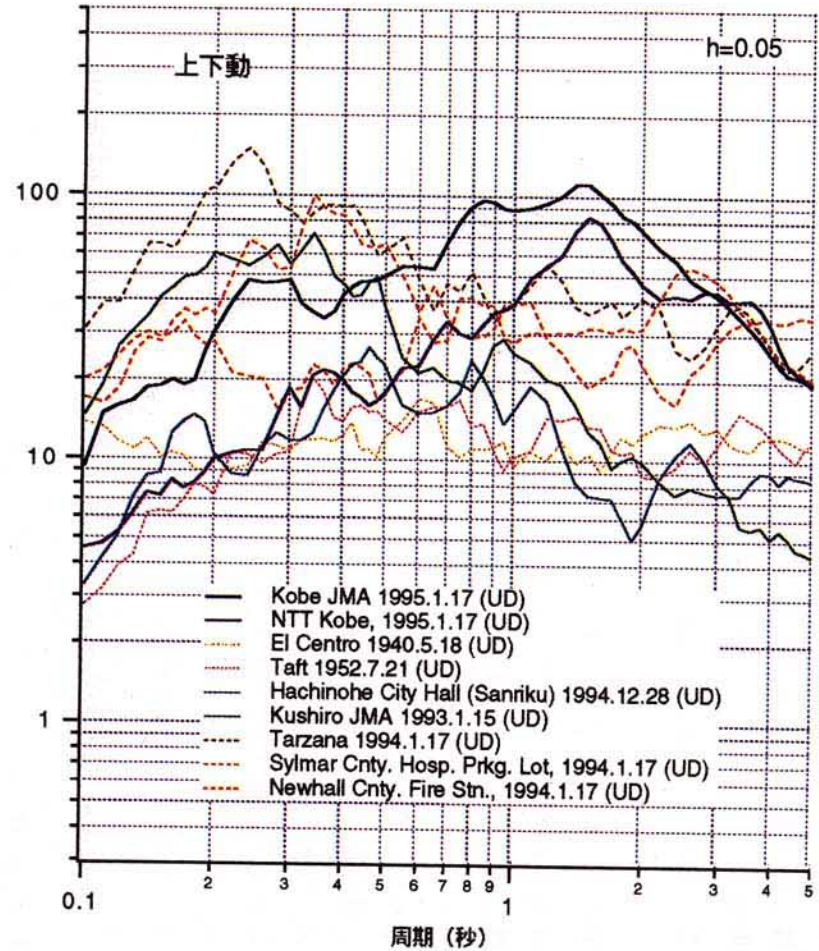


図3.1.5.2 既往大地震記録との比較（上下成分）
 (データ提供：気象庁，NTT ファシリティーズ，米国地質調査所，カリフォルニア州鉱山地質局，建設省建築研究所)

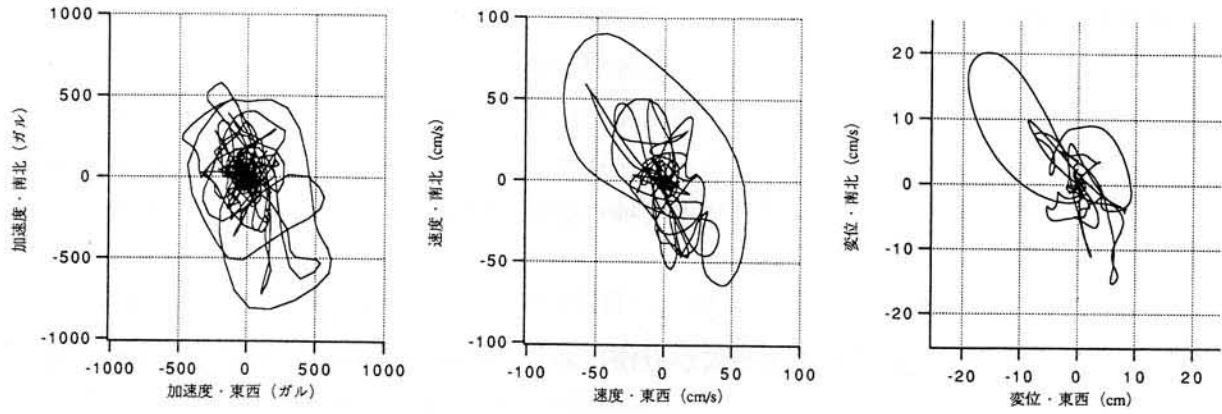


図3.1.5.3 神戸海洋気象台記録の粒子軌跡
(データ提供：気象庁)

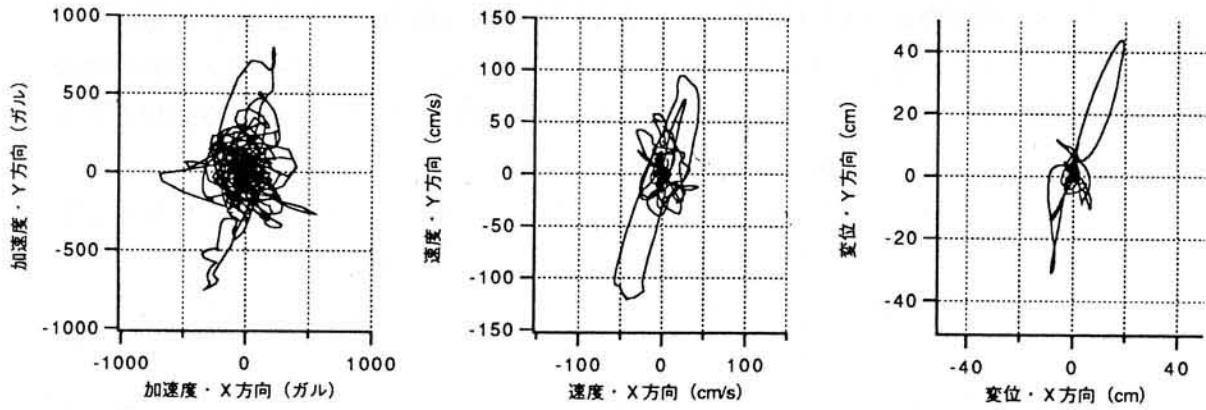


図3.1.5.4 葺合記録の粒子軌跡
(データ提供：大阪ガス(株))

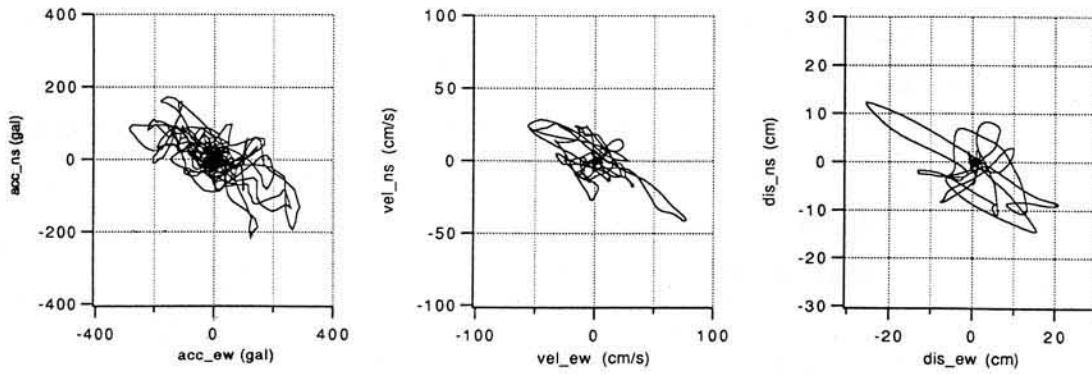


図3.1.5.5 NTT記録の粒子軌跡
(データ提供：NTTファシリティーズ)

3. 1. 6 まとめ

(1) 地震動と地盤状況との対応

1. 大振幅の加速度及び速度が広い地域で観測された。
 - ・水平最大加速度が600ガル(cm/sec^2)以上の範囲は鷹取から宝塚の広範囲に及ぶ。
 - ・水平加速度は300～800ガルと、加速度のレベルの大きな幅がある。上下加速度が水平動に比して大きい地点は神戸周辺では少ない。(SKB2, POI, EKB等)その理由として、
 - 1)密に交錯する震源断層が近傍にあり、そのいくつかが連鎖して破壊が進行したこと
 - 2)須磨区から兵庫区にかけての軟弱地盤地帯、三宮地域の旧生田川流域地域、灘・東灘の玉石・砂礫の厚く堆積した旧海岸地域など、各地域特有の地盤条件が地震動を増幅したことなどが考えられる。
 - ・三宮周辺地域は広い範囲で水平最大速度振幅は80カイン(cm/sec)を超えていたと考えられる。これは、気象台、NTT、葺合、ポートアイランド等の観測記録はすべて水平方向で80カイン以上の速度振幅をもつことからの推測である。
2. 周期約0.8～2秒の成分が大きい。
 - ・水平動では、周期約0.8～2秒でわが国の地震観測史上最大級の揺れを示している。
 - ・逆に短周期領域ではスペクトル値はそれほど大きくない。
3. 大きな上下動記録が観測された。
 - ・水平動のみならず上下動でも、気象台、NTTで既往の観測記録を大幅に上回っている。
 - ・周期1秒前後に大きなパワーを持つ上下動が得られている。(SKB2、NTT、KOB等の記録を参照)
4. 実行継続時間が短い。
 - ・各記録に共通して、実効継続時間が短く、特に初動時に数波の卓越した大振幅を有する波形を示す特徴がある。
5. 方向性が強い。
 - ・気象台、NTT、鷹取等の観測記録はすべて南北に近い方向に大きく揺れたことを示している。断層の位置および破壊過程との関係がある。
6. 軟弱地盤表層での上下動の増幅が大きい
 - ・埋め立て地帯の地震動(ポートアイランド)を参照のこと。

(2) 今後の課題

1. 各観測地点の地盤条件の整理と地盤増幅の検討
2. 震源断層における破壊の進行と地震動の関係
3. 各地域での地動の推定

4. 上部構造への入力地震動の推定

参考文献

- (1)神戸市企画局：神戸の地盤、1980年3月
- (2)土質工学会関西支部：関西地盤1992、
- (3)岩見義男・他（1982）：神戸の地盤特性、応用地震学の最近の研究、日本応用地質学会関西支部
- (4)竹中工務店：「阪神大震災（兵庫県南部地震）」調査報告 -第2報-、1995年2月
- (5)菊地正幸：「兵庫県南部地震の震源仮定モデル -遠地の地震波解析速報-」、地質ニュース486号、1985年2月、通産省工業技術院地質調査所
- (6)嶋本利彦：“震災の帯”の不思議、科学、Vol. 65、No. 4、1995年4月号
- (7)中央開発（株）：1995年兵庫県南部地震・阪神大震災災害調査報告書、1995年3月
- (8)（財）鉄道総合技術研究所：1995年兵庫県南部地震の地震動記録波形と分析、1995年2月
- (9)R. Darragh et. al., : "Processed CSMIP Strong-Motion Records From The Northridge, California Earthquake of January 17, 1994": Release No. 1, Report No. OSMS 94-06B, California Strong Motion Instrumentation Program, California Department of Conservation, Division of Mines and Geology, Office of Strong Motion Studies

謝 辞

本検討を行うにあたり、次の各機関から兵庫県南部地震における強震記録の提供を受けた。ここに記して深甚なる謝意ならびに敬意を表します。

機関名：関西電力（株）、大阪ガス（株）、（株）NTTファシリティーズ、関西地震観測研究協議会、神戸市、運輸省港湾技術研究所、阪神高速道路公団、建設省近畿地方建設局、建設省土木研究所、住宅・都市整備公団、阪急電鉄（株）、（株）松村組

3. 2 構造・材料

3. 2. 1 RC造及びSRC造建築物

(1) 被害の概要

a) 被害の特徴

RC造建築物の被害として以下のものが見られた。

- ・ 層の剛性が大きく異なる部分（1階ピロティーや下層が店舗で上層が壁の多い住居等）での剛性の小さな層の柱の破壊
- ・ 壁の偏在による1階隅柱の破壊
- ・ 1階柱の柱頭での破壊
- ・ 接合部せん断破壊
- ・ 異種構造間（SRC部分とRC部分の境、階段室等の壁構造部分とその他のラーメン構造の間の境界梁）での破壊

また、このほかにもRC建築物の被害に係わる事例として、2次壁のせん断ひび割れによりドアの開閉が出来ず避難できなかった例、建築物周囲との段差、倒壊建築物による交通への影響等があげられる。これらは過去の震災でも確認された事項であるが、今回の地震の特筆すべき被害としては、中・高層建築物の特定階での層崩壊やSRC接合部の被害がある。

b) 被害パターン

主な被害パターンを以下に示す。

① 1階の層崩壊または大破（写真3.2.1.1参照）

1階の壁が少ない建築物や、壁が偏在する建築物に見られ、主として柱がせん断破壊している。これにより、層崩壊もしくは柱が材軸方向に縮み主筋の座屈も生じている。大破した建築物の多くは、帯筋量が少ない。

1階柱頭部でのせん断破壊が見られた。一般に、柱脚の柱主筋の定着端は柱頭部より柱成の長さ分低い所でなされる。結果として柱頭部の主筋がその他の部分より少なく、このため柱頭部に被害が集中したと考えられる。

② ピロティー階の崩壊または大破（写真3.2.1.2参照）

1階が壁の少ない駐車場で上階が壁の多い共同住宅など高さ方向の剛性分布が一様でない建築物で、剛性の低い1階が破壊した。被害はピロティー階の層崩壊や軸縮みを伴う柱の大破（せん断破壊）である。

③ 中・高層建築物での中間の特定階の崩壊または大破（写真3.2.1.3～3.2.1.5参照）

中・高層建築物で特定階のみ層崩壊し、層崩壊以外ではさほど大きな被害を受けていない建

建築物が多く見られた。旧基準による建築物はほぼ高さ方向に等分布のせん断力係数で設計されているため、一般に、現行基準による建築物に比べ特に上層階で耐力が劣る。現行基準によった建築物ではこのようは被害例が未だ報告されていないことから、このことが中間階の崩壊の少なくとも一因であると推定される。また、7階以上の建物では、その多くが下部SRC造、上部RC造と考えられる。このような構造を有する被害建築物で、柱の強度の急変につながる柱主筋の大幅な低減が被害階（RC造への切り換え階）で確認された。またこの階で柱断面のしぼりも確認された。このような配筋法や断面のしぼりにより、柱強度の低い特定階に被害が集中した。さらに、高さ方向の剛性の不均衡による被害も見られる。

④ SRC造接合部の被害（写真3.2.1.6～3.2.1.9参照）

SRC造建物で、SRC柱の鉄骨の継手部における添え板の破断が見られた。写真3.2.1.6および写真3.2.1.7に示したSRC柱は、曲げ壁の周辺柱であり、地震時には大きな引張軸力が作用している。このことは隣接する柱に見られた引張りに伴うひび割れからも推定される。このような引張力によって、鉄骨の母材部分よりも引張剛性、強度の小さい継手位置に過大な塑性ひずみが生じ、継手部の添え板が破断したものと考えられる。また、アンカープレート下端のずれが見られたが、アンカーボルトについても引張強度、引抜き強度の不足が考えられる。

⑤ 壁式鉄筋コンクリート構造の被害

壁式鉄筋コンクリート構造の被害は一般に小さく、ほとんどが無被害または軽微に属する被災程度である。これは、震度7の地域についても言え、すぐ近くの建物が被災度判定上大破や倒壊であっても、壁式鉄筋コンクリート構造にはほとんど被害が見られないといった事例は数多くある。ここでは、調査を行った中では最も大きな被害を受けた壁式鉄筋コンクリート構造について概説する。なお、壁式構造の被害は過去の震害において小破以上の躯体の被害は報告されておらず貴重な例であることから少し詳細に記述する。

建物は穏やかな傾斜地に建設されており、高さ1～2mの擁壁に囲まれた地盤に建つ5階建ての住宅2棟で、竣工は昭和48年である（写真3.2.1.10参照）。基礎形式は杭基礎であるが、建物の直下を地割れが走っており、擁壁の移動（約15cm程度）、周辺地盤の沈下、建物の移動が認められる（写真3.2.1.11参照）。一方、建物自体の損傷はさほど大きくなく、建物北面で開口隅各部を結ぶせん断ひび割れ（幅5mm程度）が1、2階に集中して発生している状況である。建物桁行方向の外壁には、せん断ひび割れはほとんど見られない（写真3.2.1.12、3.2.1.13参照）。

周辺には、同様に地割れが横切っている耐力壁付きラーメン架構の7階建て共同住宅が2棟（建物の形状は異なる）建っているが、何れも構造体の損傷が大きく、震災後人は住んでいない。（写真3.2.1.14、3.2.1.15参照）

壁式鉄筋コンクリート造の被災度は、外観調査のみ行ったため断定はできないが、小破程度と考えられる。一方、ほぼ同じ立地条件のラーメン架構形式建築物の被災度は大破であり、構造形式による損傷度に明かな差異がある。



写真 3.2.1.1 4Fビル
 ・1階隅柱のせん断破壊による崩壊



写真 3.2.1.4 3階建てSRC造庁舎
 ・7階の耐震壁のせん断破壊



写真 3.2.1.2 5F集合住宅
 ・1階ピロティーの層崩壊



写真 3.2.1.5 RC造7階建て共同住宅
 ・2階の層崩壊
 1階部分は壁が上階に比べて多い
 1階柱、壁にはせん断破壊が見られた



写真 3.2.1.3 8F事務所
 ・6階が層崩壊した（奥は無被害のビル）

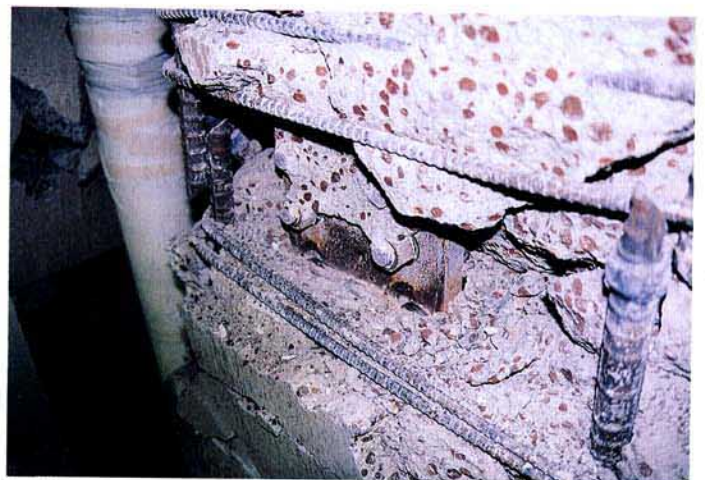


写真 3.2.1.6 11階建てのSRC造庁舎
 ・周辺柱の鉄骨継手部
 （継手部添板の破断と主筋の破断）

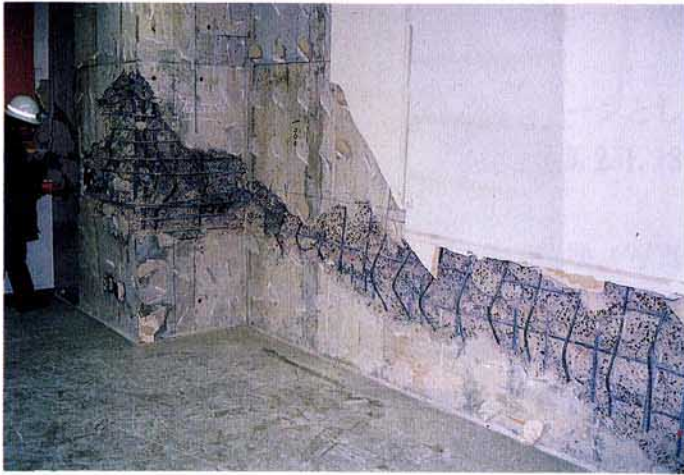


写真 3.2.1.7 11階建てのSRC造庁舎
・周辺柱の鉄骨継手部



写真 3.2.1.8 4階建てのSRC造事務所建物
・柱脚部のアンカープレート下端で、北側に
柱成の半分ほどがずれている



写真 3.2.1.9 7階建て（PH1階）のRC造社屋
・注脚部のせん断破壊及び耐震壁脚部の破壊



写真 3.2.1.10 建物全景



写真 3.2.1.13 基礎部のひびわれ



写真 3.2.1.11 擁壁の移動 (約15cm)



写真 3.2.1.14 付近の建物の被災状況
(7階建て、ラーメン構造)



写真 3.2.1.12 開口隅角部を結ぶせん断ひびわれ



写真 3.2.1.15 付近の建物の被災状況
(7階建て、ラーメン構造：写真3.2.1.14とは別建物)

⑥その他の被害

上記①～⑤に示した以外の被害のパターンとして以下のものがあった。

ア) 建築物全体の転倒 (写真3.2.1.16～3.2.1.18)

建築物全体が転倒している。

イ) 壁の偏在によるねじれ応答による崩壊 (写真3.2.1.19)

隣接建築物側にL字形壁があり、建物の重心と剛性の偏心にもなうねじれ応答が生じ、建物内部の壁が少なくなっている中間階で層崩壊に至っている。

ウ) 異種構造の間での破壊 (写真3.2.1.20)

下部はSRC造、上部はRC造で、構造が変更された床位置で破壊している。

エ) ペントハウスの落下、転倒 (写真3.2.1.21～3.2.1.23)

ペントハウスが落下または、転倒している。

オ) セットバックの影響による層崩壊 (写真3.2.1.24, 3.2.1.25)

セットバックの影響により、建物の重心と剛性の偏心にもなうねじれ応答が生じ中間階の層崩壊に至っている。

カ) 隣接建築物との衝突による被害 (写真3.2.1.26)

隣接する建築物同士の衝突により、建築物の一部が破壊している。

キ) パンケーキ状の崩壊 (写真3.2.1.27, 3.2.1.28)

建築物の全層が崩壊し、いわゆるパンケーキ状の崩壊に至っている。

ク) 柱のせん断破壊 (写真3.2.1.29～3.2.1.31)

明らかにせん断補強筋量の少ない柱 (写真3.2.1.29) や短柱 (写真3.2.1.30) だけでなく、せん断補強筋の間隔が小さい柱 (写真3.2.1.31) にも、せん断破壊が生じている。

ケ) 部材のねじれ破壊 (写真3.2.1.32)

はりが、ねじれによって破壊している。

コ) 柱頭柱脚の破壊 (写真3.2.1.33)

柱頭および柱脚部が破壊している。

カ) 柱はり接合部のせん断破壊 (写真3.2.1.34, 3.2.1.35)

RC造の柱はり接合部 (写真3.2.1.34)、SRC造の柱はり接合部 (写真3.2.1.35) がせん断破壊している。

シ) 柱の曲げ圧壊 (写真3.2.1.36)

柱脚部のコンクリートに、曲げによる圧壊が生じている。

ス) 鉄筋のガス圧接部の破断 (写真3.2.1.37, 3.2.1.38)

柱主筋のガス圧接部が破断している。

セ) 柱の付着割裂破壊 (写真3.2.1.39)

柱が付着割裂破壊している。

ソ) はりの付着割裂破壊 (写真3.2.1.40)

はりが付着割裂破壊している。

タ) 方立壁によるはりの被害 (写真3.2.1.41, 3.2.1.42)

方立壁により、はりのせん断スパン比が小さくなり、せん断破壊している。

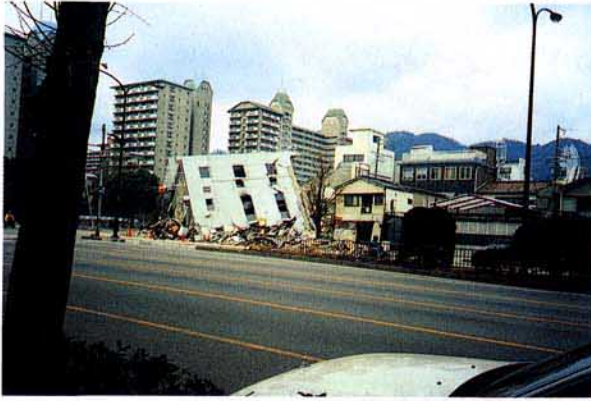


写真 3.2.1.16 建築物全体の転倒



写真 3.2.1.17 建築物全体の転倒



写真 3.2.1.18 建築物全体の転倒



写真 3.2.1.19 ねじれ応答による層崩壊



写真 3.2.1.20 異種構造 (SRCとRC) の間での破壊



写真 3.2.1.21 ペントハウスの落下



写真 3.2.1.22 ペントハウスの転倒



写真 3.2.1.23 ペントハウスの転倒



写真 3.2.1.24 セットバックの影響による層崩壊



写真 3.2.1.25 セットバックの影響による層崩壊



写真 3.2.1.26 隣接建築物との衝突による崩壊



写真 3.2.1.27 パンケーキ状の崩壊



写真 3.2.1.28 パンケーキ状の崩壊



写真 3.2.1.29 柱のせん断破壊



写真 3.2.1.30 短柱のせん断破壊



写真 3.2.1.31 柱のせん断破壊



写真 3.2.1.32 はりのねじれ破壊



写真 3.2.1.33 柱頭・柱脚部の破壊

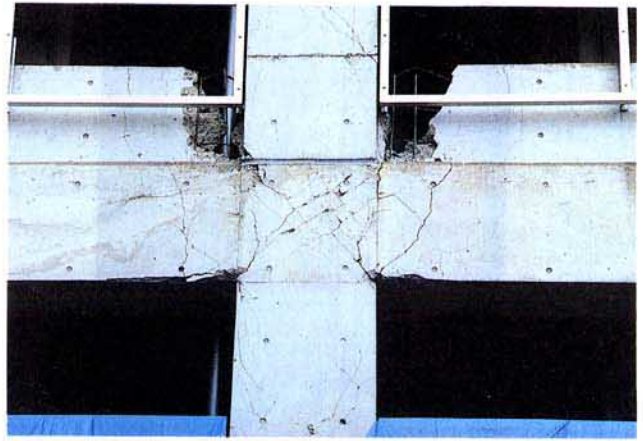


写真 3.2.1.34 柱はり接合部（RC）の破壊



写真 3.2.1.35 柱はり接合部（SRC）のせん断破壊



写真 3.2.1.36 柱の曲げ圧壊



写真 3.2.1.37 鉄筋のガス圧接部の破断

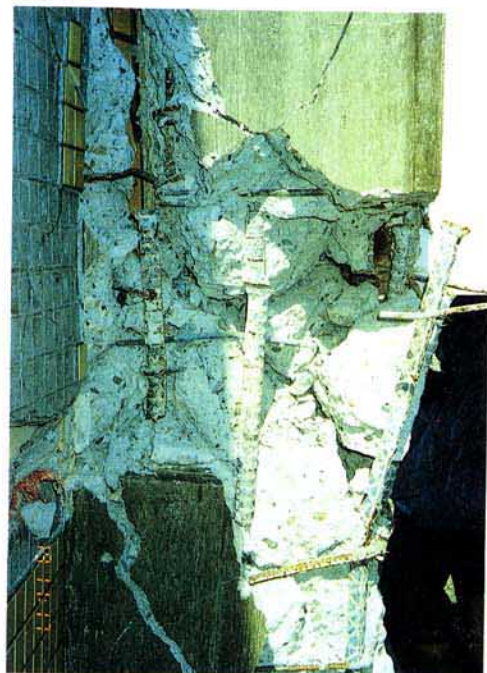


写真 3.2.1.38 鉄筋のガス圧接部の破断



写真 3.2.1.39 柱の付着割裂破壊



写真 3.2.1.40 はりの付着割裂破壊



写真 3.2.1.41 方立壁によるはりの被害



写真 3.2.1.42 方立壁によるはりの被害

c) 設計基準からみた被害とその特徴

我が国の鉄筋コンクリート造の設計基準は、1971年と1981年に改正された。このことから鉄筋コンクリート造建築物を1971年以前と1971年より1981年に至るまでおよびそれ以降の3つにグループ分けると、これら3つのグループ間の被害率は大きく異なることが本報告書のマクロ分析結果から明らかとなっている。

すなわち、

①1971年以前の建築物の被害率は極めて大きい。

②1971年以降の建築物の被害は小さい。特に1981年以降の建築物ではピロティー建築物等の特定の特性を有する建築物以外では大きな被害はほとんどない。(③現行基準によった建築物の被害調査参照)

このように今回の建築物の被害率と設計基準との間には極めて大きな相関を有することから以下ではこれら基準の設計用せん断力について検討した。

1981年以前の旧基準では水平震度(①式参照)を規定し許容応力度設計を要求している。また現行基準ではいわゆる中地震動に対し(2)式の外力を規定し許容応力度設計を、大地震動に対し原則として(3)式のせん断力係数に相当する保有水平耐力の確認を要求している。

・旧基準における水平震度

$$K = 0.2 \quad \dots (1)$$

(ただし、16mを超える階にあっては4mを超える毎に0.01を加える)

・現行基準における設計用層せん断力係数(中地震動時)

$$C_i = Z R_t A_i C_o = A_i C_o = 0.2 A_i \quad \dots (2)$$

ここで

C_i : 層せん断力係数

Z : 地震地域係数で1.0とした

R_t : 振動特性係数で1.0とした

A_i : せん断力分布係数

C_o : 標準せん断力係数で0.2とした

・現行基準における設計用層せん断力係数(大地震動時)

$$C_i = F_{cs} D_s Z R_t A_i C_o = 0.3 A_i C_o = 0.3 A_i \quad \dots (3)$$

ここで

F_{cs} : 形状係数で1.0~2.25、ここでは1.0とした

D_s : 構造特性係数で0.3~0.55、ここでは0.3とした

C_o : 標準せん断力係数で1.0とした

なお、(1)式の水平震度は16m以下の建物では層せん断力係数に一致する。16mを超える建物では層せん断力係数と異なるが、層せん断力係数との差はごくわずかである。

以下の検討では各階の質量を同一、各階の階高を3mと仮定する。

図3.2.1.1に10階建の建物についての(1)式および(2)式によるせん断力係数並びに(3)式と、(1)式の値を1.5倍したせん断力係数を示す。

同じ許容応力度設計を行っているという観点から(1)式と(2)式を比較すると旧基準による建物は現行基準のものに比べ上層階ではかなり小さい設計用せん断力で設計されていることになる。また、図のように旧基準で設計された建物が、終局時に設計用せん断力係数の1.5倍の耐力しか有しないとすれば、現行基準で要求している耐力に比べ旧基準によった建物は上層階程耐力不足であることがわかる。

ただし、最上階および最上階にごく近い階では3章で記すように最小配筋等の構造規定によって現行基準の要求値をも上回る可能性がある。

なお、旧基準であっても、1971年以前と以後ではせん断設計の規定が大幅に異なる。即ち、1971年の基準の改正ならびに日本建築学会のRC規準の改訂では、

- ①せん断破壊を避けるため、曲げ降伏先行の概念に基づく規定がもり込まれた。なお、この降伏形が、保証されない場合には設計用せん断力をそれ以前の1.5倍以上にする事を規定している。
- ②許容せん断力において鉄筋の効果を認めたが、その最小間隙をそれ以前の約1/3とした。また、コンクリートの効果をそれ以前の約3/4に低減した。

これらにより、1971年以後の建築学会の規準によつての建築物ではそれ以前のものに比べ、1.5倍程度の許容せん断力を有するか、あるいはそれに匹敵する構造的な性能を要求されていると言える。このような大幅なせん断設計の変更は必然的に部材断面の拡大となり、結果として曲げ耐力も高めている。また一部は降伏先行も実現し、1971年以降の建築物の被害を小さくしていると考えられる。

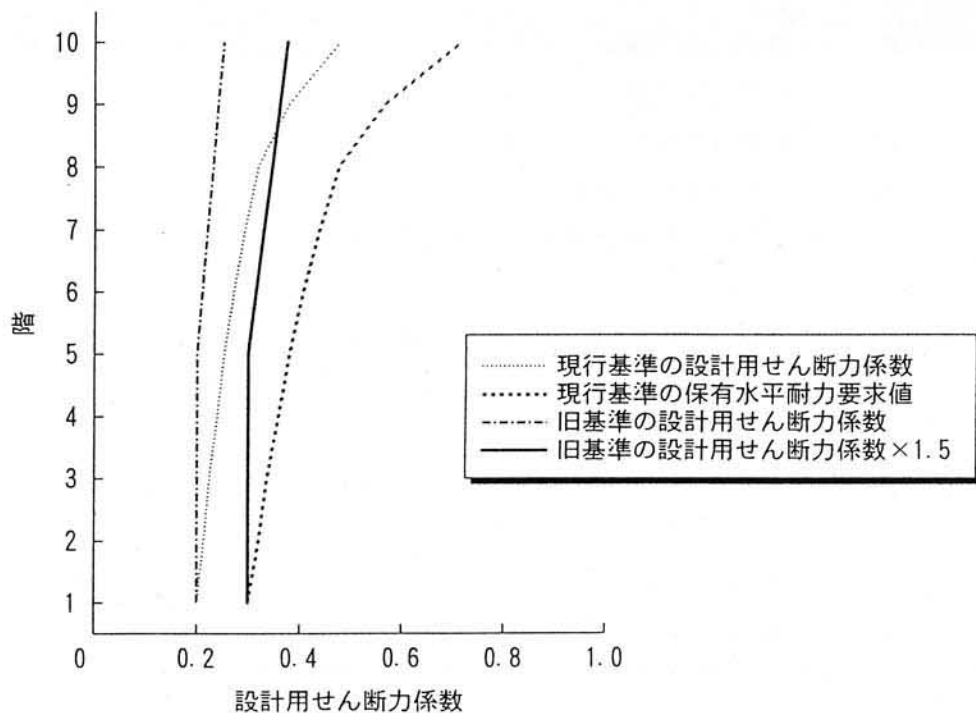


図3.2.1.1 現行基準と旧基準の設計用せん断力係数

(2) 被害建築物詳細事例調査

a) 目的

兵庫県南部地震によって建築物はかつてない被害を被った。本調査は被害状況の客観的な資料を残すことを目的として、主として公共建物を対象とし、鉄筋コンクリート造の被災建築物の詳細調査を行ったものである。

本調査は建設省建築震災調査委員会（岸谷孝一委員長）の調査の一環として、（社）日本建築学会の鉄筋コンクリート構造運営委員会と建設省建築研究所とが共同で行った。調査においては（社）日本建築構造技術者協会の協力を得た。

尚、詳細調査の他、神戸市中央区の倒壊建築物等の統計的な調査も行った。

調査は2月16日から2月19日にかけて行った。

b) 詳細調査建築物一覧

詳細調査の対象としたのは、表3.2.1.1および図3.2.1.2に示した1)～20)の20件の建築物である。なお、一つの調査対象に2棟以上が含まれているケースもある。

これらの建築物を所在地別にみると、神戸市が13件、芦屋市が4件、西宮市が3件となっている。竣工年は、1957年から1993年の範囲であり、71年以前に竣工したものが13件、71年より後で81年以前に竣工したものが3件、81年以降に竣工したものが3件、判明していないものが1件となっている。

構造種別ごとにみると、鉄筋コンクリート造が9件で、鉄骨鉄筋コンクリート造が11件となっている。

被害程度別にみると、倒壊した棟があるケースが9件でそのうち中間階の層崩壊が5件、1階の層崩壊が3件、PC屋根板の落下が1件となっている。大破または局部大破した棟があるケースが6件、中破した棟があるケースが4件、小破または軽微の棟があるケースが5件、不明が1件となっている。

構造計画上の特徴のあるケースとして、1階を駐車場や店舗にするためのピロティーを有するもの5件が含まれている。

表3.2.1.1 詳細調査建築物一覧

調査建築物番号	所在地	竣工年	構造種別	階数	被害程度	その他
1	神戸市中央区 加納町6丁目	1957年	鉄骨鉄筋コンクリート造	地上8階	倒壊(6階の 層崩壊)	
2	神戸市中央区 一番町2丁目	1969年 1977年 (増築)	鉄筋コンクリート造	地上8階	倒壊(5階の 層崩壊)	
3	神戸市中央区 北本町通6町 目	1973年	鉄骨鉄筋コンクリート造	地上12階	倒壊(4階の 層崩壊)	
4	神戸市中央区 中山手通8丁 目	1969年	鉄骨鉄筋コンクリート造	地上10階	不明(1階の詳 細調査できない ため)	1階が店舗
5	神戸市中央区 西町36番地	1965年	鉄骨鉄筋コンクリート造	地上8階	倒壊(4階の 層崩壊)	
6	神戸市中央区 京町69番地	1978年	鉄骨鉄筋コンクリート造	地上10階	中破	
7	西宮市六湛寺 町	1971年	鉄骨鉄筋コンクリート造	地上8階	大破	
8	西宮市六湛寺 町	1967年	鉄筋コンクリート造	地上6階	小破 (局部大破)	
9	西宮市櫛塚町	1966年	鉄筋コンクリート造+ 鉄骨造	地上5階	倒壊(1階の層 崩壊)	1階駐車場 ピロティ
10	神戸市東灘区 本山南町	1971年	鉄筋コンクリート造 (1号棟) 不明(3、4号棟)	地上11階	倒壊(1号棟) 中破(3、4号棟)	
11	神戸市東灘区 本山南町	1971年	鉄骨鉄筋コンクリート造	地上14階	中破	
12	神戸市東灘区 本山南町	1971年	鉄骨鉄筋コンクリート造	地上14階	大破	
13	神戸市東灘区 本山南町	1971年	鉄骨鉄筋コンクリート造	地上11階	大破	
14	神戸市中央区 大日通1丁目	1964年	鉄骨鉄筋コンクリート造	地上6階	大破(北東棟) 中破(西棟) 小破(南棟)	
15	芦屋市精道町	1960年 1991年 改修	鉄筋コンクリート造	地上4階	小破	
16	芦屋市業平町	未判明	鉄筋コンクリート造	地上4階	局部大破 全体軽微	
17	芦屋市上宮川 町	未判明 新耐震 以降	鉄筋コンクリート造	地上8階	軽微	ピロティ
18	芦屋市川西町	1972年	鉄筋コンクリート造	地上3階	一部倒壊(体育 館のPC板屋根の 落下)	
19	神戸市東灘区 本山南町八丁 目	1986年	鉄筋コンクリート造	地上8階	倒壊	ピロティ
20	神戸市東灘区 御影町石屋	1993年 新耐震	鉄筋コンクリート造	地上5階	倒壊	ピロティ

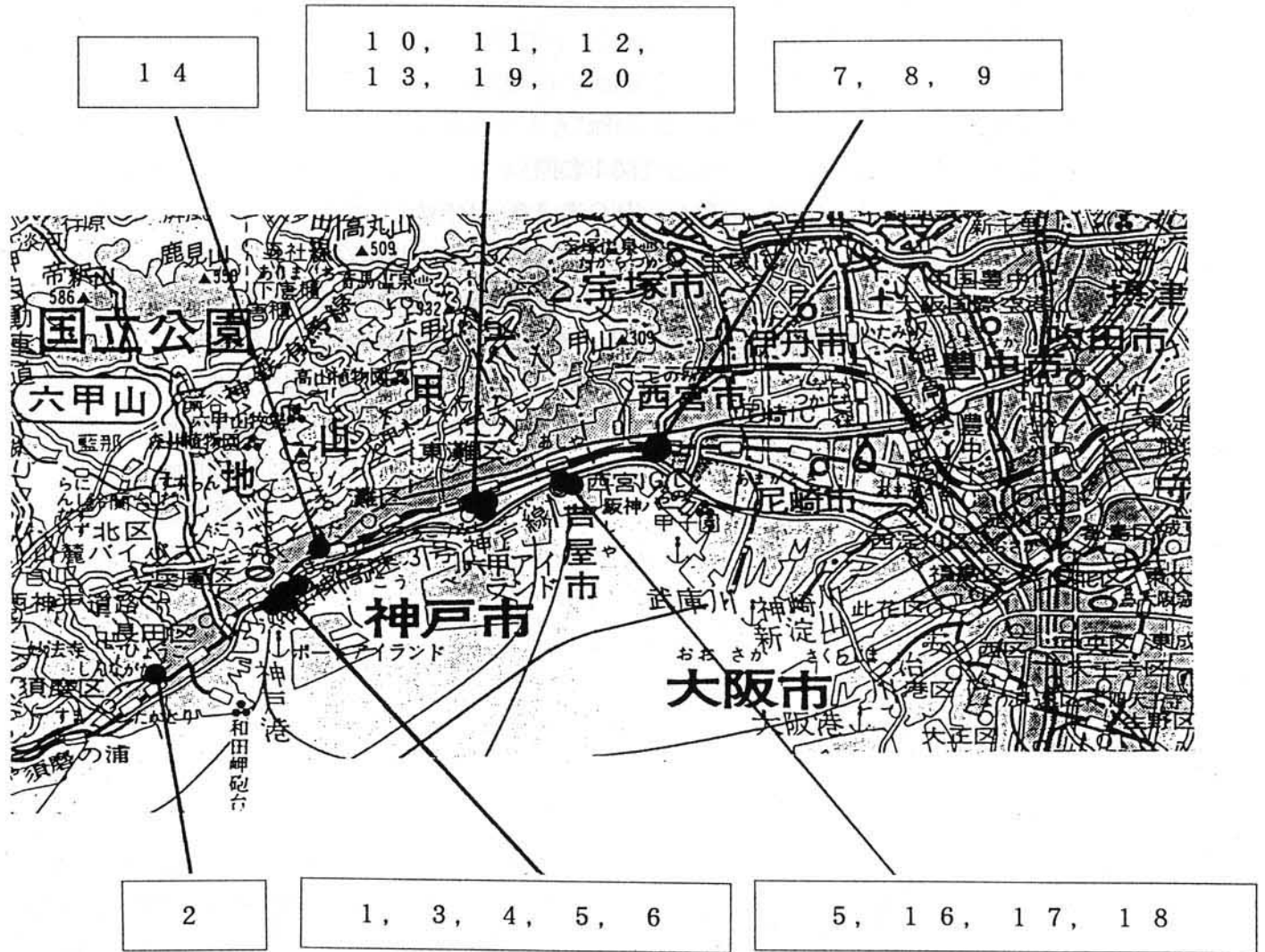


図3.2.1.2 詳細調査建物の所在位置

c) 調査事例

調査結果は『平成7年兵庫県南部地震鉄筋コンクリート造建物の被害詳細調査（速報）』（震災調査委員会）としてまとめられている。このうち、8階建事務所建築物（表3.2.1.1の建築物番号1参照）の報告を以下に記す。

① 建物概要

- 平面形状 94.6m×26.0mの整形な長方形
- 立面形状 地上8階、地下1階、塔屋4階
- 軒高 30.4m、最高高さ 46.65m
- 建築面積 2,674m²、延床面積 23,848m²
- 構造形式 耐力壁付きラーメン構造（図1参照）
SRC造（地階～5階）、RC造（6～R階）
- 桁行方向（南北）：5.4mスパン、18構面（8～25通り）の均等ラーメン。
中構面（C、D構面）に耐力壁が配置されている。
- 張間方向（東西）：8.0m、7.3m、8.0mスパンの4構面（B～E構面）。
12、14、18、21通りに耐力壁が配置されている。
- 柱寸法 地階 1150×1150mm、1～2階 1000×1000mm、3～4階 850×850mm
5階 850×850mm、6～7階 650×650mm、8階 600×600mm
(実測寸法、仕上げを含む)
- 鉄筋 主筋、せん断補強筋とも丸鋼。
柱帯筋間隔は300mm。主筋継手にガス圧接を使用。
- 鋼材 不明
- 設計 昭和29年
- 竣工 昭和32年4月(1957年4月)

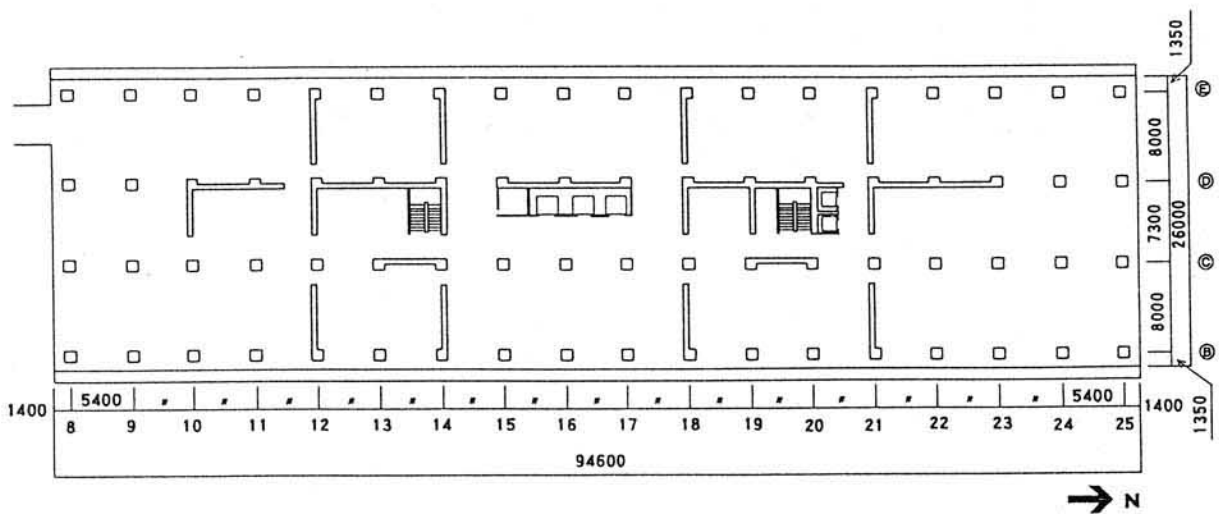


図3.2.1.3 基準階平面図

② 被害概要

全体的な被害の特徴は、6階部分の層崩壊である。7階以上の部分は主に北側に落下しているが、東側にも少しせり出している（写真3.2.1.43）。各階の柱、耐力壁の被害の状況、並びに損傷度評価を行った結果は、以下のとおりである。構面、及び通りの呼び名は図3.2.1.3による。

- ・地階では、エレベータ後ろのD構面の耐力壁側柱1本で柱下部の主筋が座屈し、かぶりコンクリートが脱落している。鋼材も一部覗いているが接合部の破損は認められない（写真3.2.1.44）。その他の柱、耐力壁の損傷度は概して小さい。
- ・1階では、桁行方向C、D構面柱、耐力壁に損傷度Ⅲ～Ⅳの部材が少し見られる。
- ・2階では、中構面の耐力壁とその側柱に大きなせん断ひび割れが見られる。側柱の1本では、スラブ面からの高さ140～150cm付近で水平方向の破壊が見られ、コンクリートの圧壊、主筋の座屈が起きている。柱中の鋼材の接合プレートが覗いており、ちょうど接合部分に相当すると考えられる（写真3.2.1.45）。
- ・3、4階では、損傷度Ⅲの柱が少し見られるが、外側の柱の損傷度はⅠ～Ⅱである。
- ・5階では、中構面にせん断破壊による損傷度Ⅴの柱が3本、Ⅳの柱が1本見られるが、耐力壁の損傷度はⅢにとどまっている（写真3.2.1.46）。
- ・6階は完全に崩壊して下のスラブの上に落下しており、梁せいの高さの空間しか残されていない。
- ・7階では、崩壊した6階の柱（写真3.2.1.47）、耐力壁の頭部がスラブを突き破って露出している所がある。損傷度は、耐力壁の側柱1本でⅣと評価されたが、他の柱の被害は概して小さい（写真3.2.1.48）。
- ・8階も、7階同様柱の損傷度は概して小さい。

③ 所見

層崩壊した6階の構造的な特徴として、5階柱の下半分まではSRC造で柱は75cm角、主筋は20—φ25であるのに対して、6、7階では柱は65cm角、8—φ22と柱主筋が少なくなり、鉄骨の入らないRC造と変化していることが実測および破壊部の目視からわかる。6階柱の主筋量は、最小鉄筋比に相当する0.8%であり、5階柱の主筋量の約1/4となっている。6階部分の耐力のその階までの重量の比は上下階に比べて相対的に小さいことが推定され、大きな地震動を受けてこの部分に破壊が集中したものと考えられる。

2階柱の損傷（写真3.2.1.45）は、その位置が柱の鉄骨の継手部にあたることから、継手の接合に起因するものと想定される。すなわち、曲げを受ける耐力壁の付帯柱としてこの柱が引張力を受け、この引張力により継手部が損傷し、柱の主筋が引張による塑性変形を生じた後、圧縮力によって主筋が座屈し、かぶりコンクリートが脱落したと考えられる。地階における柱（写真3.2.1.44）も同様で、耐力壁の付帯柱として引張力を受け、柱脚の鉄骨のアンカーが損傷を受け、柱の主筋が引張降伏し、その後圧縮力により柱の主筋が座屈したのと考えられる。このような損傷により主要な耐震要素の一つである連層耐力壁が耐力を損失し、結果としてもとと保有耐力の小さい6階の保有耐力がさらに減少したことが想定される。なお、損傷度Ⅳ、Ⅴと判断された5階の柱は、6階の落階により生じたと推定される。



写真 3.2.1.43 全景（6階部分の層破壊が見られる）

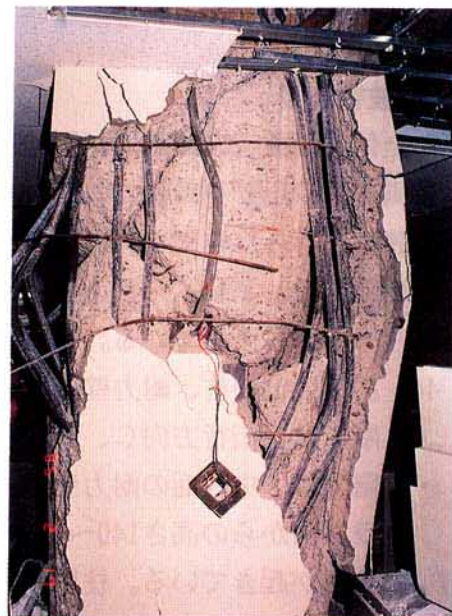


写真 3.2.1.46 5階柱（D構面、24通り）せん断破壊（上階の落階によるものと想定される）



写真 3.2.1.44 地階 耐力壁側柱（D構面、15通り）柱主筋の座屈



写真 3.2.1.47 7階床スラブ（D構面、8通り）上に突出した6階柱（写真3.2.1.46の5階柱に比べ柱主筋が極めて少ない）



写真 3.2.1.45 2階耐力壁と側柱（D構面、15～16通り）壁せん断亀裂、柱主筋の座屈（柱内蔵鉄骨の接合部引張破壊によるものと想定される）



写真 3.2.1.48 7階柱の被害状況（全景）（5階、7階の柱の損傷は小さい）

(3) 現行基準によった建築物の被害調査

a) 目的

兵庫県南部沖地震によって鉄筋コンクリート造建築物はかつてない被害を被った。被害は旧耐震基準によるものが多いが、現行基準によるものも報告されている。本調査は現行基準による建築物の被害状況の客観的な資料を残し、基準整備の助けとなることを目的としてその概要調査を行ったものである。本調査は、現行基準により設計されたRC建築物で大きな被害を受けたものを概要調査の対象とした。調査対象RC建築物は神戸市により使用禁止と判定された建築物と1995年2月16日から19日にかけて行われた、日本建築学会の鉄筋コンクリート構造運営委員会と建設省建築研究所合同の調査結果に基づく1995年4月20日現在のデータにより抽出したもの等(43棟)である。

b) 調査建築物

調査建築物は表3.2.1.2に示す、1～43の43件の建築物である。No.5、No.6の2棟を除く建築物は1月18日から1月22日の応急危険度判定作業の第一段階として明らかに危険な建築物と判断され「使用禁止」の扱いを受けたものである。その後、これら43件の建築物に対して建設省建築研究所は追跡調査を行なった。これにより、大破以上16棟(内、衝突によるものが2棟)、中破以下が21棟(内、基礎の被害が報告されているものが1棟)、現行基準以前のものが6棟と判明した。

衝突による被害と現行基準以前による建築物を除く35棟は、東灘区に8棟(内大破4棟以下同様)、灘区13棟(3棟)、中央区4棟(4棟)、兵庫区6棟(3棟)、長田区2棟、芦屋市2棟に分布している。構造種別では、鉄筋コンクリート造が23棟(11棟)、鉄骨鉄筋コンクリート造が8棟(3棟)、不明が4棟である。

大破以上の被害を受けた建築物14棟のうち、9棟がピロティを有する建築物である。これらの構造種別はすべて鉄筋コンクリート造で階数は4階から10階までである。被害方向のパン数は、基本的に1パンである。なお、大破以上の内、倒壊した5棟はすべてピロティを有する建築物である。残り5棟のうち、SRCの柱脚アンカーおよびSRCとRCの切り換え階の被害によるものが3棟、継手の不良によるものが1棟、角地に建ち、壁の偏在のためのねじれによる被害と思われるものが1棟である。

表3.2.1.2 3次補足調査（被害の大きな新耐震建物の調査）

No	被災度	住所	竣工年	構造/階数	スパン数	崩壊モード	構造的な特徴
＜大破以上＞							
1	倒壊	東灘区本山南町	86年	RC - 8	3×5	1階柱のせん断破壊、傾斜大	ピロティ(雁行)
2	倒壊	灘区新在家南町	86年	RC - 7	2×3	1階柱の圧壊、主筋座屈、せん断、傾斜1/20	ピロティ
3	倒壊	東灘区御影町石屋	申請90年	RC - 5	1×1	1階(4本柱)の曲げ破壊、落階	ピロティ
4	倒壊	中央区若菜通	申請88年	RC - 10	1×1	1階(4本柱)のせん断破壊、主筋座屈	ピロティ
5	倒壊	灘区大和町	93年	RC - 4	1×2	1階柱の圧壊、主筋座屈、せん断破壊、傾斜大	ピロティ
6	大破	兵庫区	93年	RC - 14	1×5	3層壁の曲げ破壊、継手部の被害	継手不良
7	大破	東灘区田中	88年	RC - 5	×	塔状ビルのねじれ、1階柱のせん断破壊	角地、壁偏在
8	大破	中央区筒井	89年	SRC-7	×	3階構造切替部での壁・柱の曲げ(定着)破壊	SRC, RCの切替
9	大破	兵庫区中道通	86年	RC-3~7	1×6	1階柱頭、柱脚で圧壊	1,2階ピロティ形状
10	大破	東灘区本山中町	85年	RC - 6	1×8	1階柱の圧壊、主筋座屈、せん断破壊	ピロティ
11	大破	兵庫区駅前通	88年	RC - 10	1×6	1階柱頭の主筋座屈	ピロティ
12	大破	中央区江戸町	84年?	SRC-9	×	1階柱脚部SRCアーカーの伸び、主筋座屈・破断	SRC柱脚アカー
13	大破	灘区大石南	85年	RC - 6	1×3	西側1階柱頭、柱脚で曲げ破壊	ピロティ
14	大破	中央区中山手通	92年	SRC-9	×	1階柱脚部ベースプレートずれ破壊、壁筋破断	SRC柱脚アカー
＜隣接建物の倒壊による被害(大破以上)＞							
15	倒壊	中央区北長狭通	申請86年	RC - 6	1×3	隣接建物の崩壊による衝突被害、1階柱脚圧壊	ベンシルビル
16	部分大破	東灘区田中	82年	RC - 4	1×	隣接建物の崩壊による衝突被害、1階柱大破	ベンシルビル
＜中破以下＞							
17	中破	東灘区本山中町	94年	RC - 5	2×11	1階柱頭、柱脚の主筋座屈、主筋破断	ピロティ
18	中破	東灘区本山中町	85年	RC-9, B1	1×4	1階柱脚の圧壊、主筋座屈・破断	1階ピロティ形状
19	中破	兵庫区東柳原町	83年	RC - 7	1×5	(内部不明)	ピロティ
20	中破	灘区桜口町	91年	RC-10, B1	2×3	2、3階柱の付着破壊、主筋座屈、接合部せん断	1-3階ピロティ形状
21	中破	長田区菅原通	84年	RC - 7	1×5	1階柱頭の主筋座屈	1階ピロティ形状
22	中破	東灘区住吉本町	87年	-7~10	1×	1階隅柱1本がせん断破壊	(1階から住戸)
23	中破	灘区弓木町	85年	RC-8	1×6	梁降伏、梁・柱・接合部ひびわれ	純ラーメン
24	中破	灘区補丘町	91年	HFW-10	1×7	梁降伏	高層壁式ラーメン
25	中破	長田区松野通	建築中	RC - 9	2×3	梁降伏・一部圧壊、柱せん断ひびわれ	1-3階ピロティ形状
26	中破	灘区永手	88年	SRC-12	×	3階付近と階段棟の外壁に被害が集中	3階からセットバック
27	中破	灘区桜口	85年	RC - 5	×	1階柱頭・柱脚曲げ破壊	1階ピロティ形状
28	中破	灘区大和	87年	-11	×	接合部・短スパン梁の被害大、非構造壁破壊	(1階から住戸)
29	中破	灘区琵琶町	82年	RC - 8	×	1階柱脚主筋座屈、東面外壁大破	ピロティ
30	中破	芦屋市大原町	86年	SRC-6	×	1階柱脚主筋座屈、B1階SRC柱脚部のアカー破断	SRC、1階店舗
31	小破	兵庫区入江通	85年	-9	1×5	1階柱の主筋座屈	ピロティ
32	小破	兵庫区浜崎通	93年	SRC-12, B1	6×7	B1柱の主筋座屈、アンカー部の損傷	SRC、B1駐車場
33	小破	東灘区甲南町	※	RC - 8	2×2	基礎被害。上部構造被害軽微	一部ピロティ
34	小破	灘区岸地通	92年	SRC-7	×		
35	小破	灘区岩屋北	90年	SRC-14	×	外壁のせん断破壊	
36	上部軽微	芦屋市潮見町	今回未調査		×	近くの擁壁の破壊により地盤が崩壊、建物傾斜	
37	無被害	灘区船寺通り	91年	RC - 4	×		
＜新耐震以前＞							
38	崩壊	東灘区森南	73年	RC - 6	L形	1階柱のせん断破壊、基礎に被害?	ピロティ
39	崩壊	東灘区住吉本町	※	RC - 6	1×	1階柱のせん断破壊	ピロティ
40	崩壊	東灘区深江本町	申請80年	RC-4, B1	1×2	B1階柱のせん断破壊、落階	B1ピロティ
41	中破	灘区友田町	79年	RC - 8	1×2	1階柱付着割裂破壊	ピロティ
42	中破	中央区中山手通	※	RC - 3	1×	帯筋丸鋼、1階柱頭曲げ破壊	1階店舗
43	大破	芦屋市打出小館町	※	RC - 7	×	帯筋丸鋼、1階柱せん断破壊	ピロティ

注釈 1) ※は主筋の種類および帯筋の種類と間隔より竣工年(81年以前、以降)を推定したもの
 2) 構造的な特徴の覧の定義 ピロティ : 主として駐車場として使われるオープンスペースで上階に壁があるもの
 ピロティ形状 : 店舗など壁の少ない層の上階に壁があるもの

c) 調査事例

調査結果のうち、8階建集合住宅（ピロティ：表3.2.1.2のNo.1）の報告を以下に記す。

① 建物概要

平面形状 5.6(6.1)m×11.1mのブロックが3つ、南北方向に3.7mずつずれて雁行片持ちスラブのバルコニーと廊下、隣接棟との渡り廊下が附属
2階床の一部が吹き抜け

立面形状 地上8階、地下階なし、搭屋階なし 8階に1スパン分のセットバックあり
1階ピロティ形式（但し、南北方向には耐震壁あり）

軒 高 22.35m 最高高さ 22.95m

建築面積 約200㎡ 延床面積 約1300㎡

構造形式 RC有壁ラーメン構造

桁行き方向 5.6mスパン4構面（A、B、D、E構面）、および、6.1mスパン2構面（東西）（C、F構面）が雁行している（直交壁あり）。北面F通り
にのみ雑壁あり、特に北側3構面には多量に存在する。

梁間方向 両妻側に11.1mスパン2構面（①、④構面）、西面は2階以上、東面は（南北）
3階以上に雑壁が大量に存在する。中央の3.7+7.4+3.7mスパンの2構面（②
および③構面）の中央スパンの連層耐震壁が1階まで降りている。

柱 寸 法 1階 800×800mm～ 2階 700(600)mm～ 5階 600×600mm～
8階 550×550(600)mmと各階で小刻みに5～10cm小さくしている。

鉄 筋 主筋 D19、D22、D25 (SD345) ガス圧接継手
帯筋 D10、D13 (SD295A) フラッシュバット溶接（角型
スパイラル）

コンクリート Fc240(1,2F)、Fc225(3,4,5F)、Fc210(6,7,8F)、普通コンクリート

設 計 昭和60年2月

竣 工 昭和61年3月

② 被害概要

1階の西側部分で落階を生じ、建物全体が西側に4度ほど傾いている（写真3.2.1.49）。損傷は1階に集中し、2階以上では壁にせん断ひび割れが見える程度で被害は僅かである（写真3.2.1.50）。また、渡り廊下（本棟側にピン接合、隣接棟側にピンローラー接合）が全層に渡って落下している（写真3.2.1.51）。

西側の1階柱のほとんどはせん断破壊を生じ脆性的に破壊している（写真3.2.1.52）。床の吹き抜けのための2階の（剛）床と緊結されていない東側の4通り、南面のA通りの柱は柱頭柱脚で曲げ破壊を生じており、落階を免れている（写真3.2.1.53）。この柱には2階部分でも曲げ破壊が生じている。南北方向には耐震壁が1階まで入っており、完全にピロティ形式になっている東西方向に大きく揺らされたと想像される。南北方向耐震壁には大きな面内せん断ひ

び割れは見あたらず、面外方向に曲げられて破壊している（写真3.2.1.54）。

主筋のガス圧接継ぎ手部の破断は見られるが（写真3.2.1.55）、数はさほど多くない。帯筋のフラッシュバット溶接部の破断も見られたが、これも数は少なく帯筋の破断は継ぎ手部以外で生じていた（写真3.2.1.56）。柱の帯筋はかなり密に入っているが、中子筋は入っておらずせん断破壊後のコンクリートの破壊、軸力保持が困難であったことが考えられる。

同敷地内に同時期に設計、施工された9～11階建RC構造の住宅（3棟）があるが、2次壁を中心に損傷はかなり生じているものの、補修可能な程度のものであった（写真3.2.1.57）。1階がピロティ形式である本棟のみが補修不可能な被害を被っている。

③ 所見

本建築物は、現行の建築基準法（いわゆる新耐震）に基づき設計されたものであり、その倒壊原因を究明することは現行の建築基準法の要求耐震性能を判断する上において非常に重要である。それだけに、今後十分な検討を行う必要があるが、本報告では簡単な解析を行った。

7) 検討した問題点

本建築物の崩壊機構は、1階における層崩壊であることから、次の問題に関して解析を行った結果を示す。

- i) 1階柱の破壊モードの解析による推定と実際との比較
- ii) 1階の保有水平耐力の概略値

1) 用いた解析仮定

以上の2点を検討するために用いた解析仮定は以下の通りである。

- i) 柱の終局曲げ耐力、せん断耐力は、本建築物が設計された当時および現在の日本において最も広く用いられている、日本建築センター刊「建築物の構造規定」中の終局曲げ耐力略算式および修正荒川式（せん断耐力）を用いた。また、参考のためにACI規準式を用いた検討も行った。式の詳細については表3.2.1.3を参照されたい。
 - ii) 材料強度については、実際に用いられた鉄筋、コンクリートの材料試験が現在までのところ得られていないことから、最も実際に近いと思われる値を仮定した。詳細については表3.2.1.3を参照されたい。
 - iii) 建築物の水平耐力時における柱軸力の推定は、地震の上下動の問題も含めていろいろな問題が関係するので非常に困難である。ここでは、柱の軸力は鉛直荷重（自重）によるものだけを考慮し、地震の水平および上下動による軸力の変動は無視した。鉛直荷重の算定にあたっては一般階も屋上階も1.2tonf/m²（柱、壁等の重量も含む）と仮定した。
 - iv) 柱が曲げにより耐力に達する時の柱せん断力は、柱頭、柱脚の終局曲げ耐力の和を柱の内のり高さで除して求めた。
 - v) 水平耐力時の柱のせん断力は、終局曲げ耐力時のせん断力か、修正荒川式で求めたせん断耐力のうちいずれか小さい方とした。ACI規準式により求めた値は、参考値にとどめた。
 - vi) 水平耐力の算定にあたっては、(V)の仮定で求めた1階のすべての柱のせん断力の単純和とした。
- すなわち、柱の靱性不足に起因する個別撃破、構造物のねじれ等の影響は無視した。

り) 考察

結果を表3.2.1.3に示す。以下のことが分かる。

- i) 終局曲げ耐力略算式および修正荒川式を用いた計算値による破壊モードは4本の中柱(CB3, CC2, CD3, CE2)がせん断破壊で、他の8本の外柱は曲げ破壊となっている。このことはACI規準式を用いた計算値による場合も同じである。
- ii) 実際の破壊モードと解析による破壊モードはCC1, CF1, CB2, CF2を除いて一致している。CC1, CF1, CB2, CF2の解析による破壊モードは曲げ破壊であるが、実際にはせん断破壊となっている。これらの柱の破壊モードについては推定と実際が異なる原因は、柱の軸力による影響と思われる。すなわち、CC1, CF1, CB2は倒壊している方向に水平力が作用した時の転倒モーメントによる軸力が圧縮となる柱であり、このため終局曲げ耐力が上昇し、せん断破壊が生じたものと思われる。圧縮軸力の増加によるせん断耐力の上昇も考えられるが、終局曲げ耐力のそのほうが上回ったと思われる。CF2柱については、以上の考察が当てはまらないが、CF2柱には階段が取り付いておりそのことが何等かの影響をもたらしたものであると思われる。
- iii) 水平耐力は、ベースシェアー係数にして0.80である(この値を得た解析に用いられた仮定は今後十分に検討する必要がある)。0.80という値は、建物が倒壊した状況から判断すると、決して十分大きな値とは言えない。すなわち、柱部材の変形能力は(12本の柱のうち8本がせん断破壊していたことから)乏しかったと判断せざるを得ないし(ここではDS値としてラーメン構造の最大値である0.45を想定してみる)、建物の崩壊機構も塑性変形が殆ど1階に集中する避けるべき崩壊機構となっている(同様に剛性率による形状係数の最大値1.5を想定してみる)ため必要保有水平耐力係数は0.675(0.45x1.5)となり、水平耐力(ベースシェアー係数)0.80はその約1.2倍程度しかない。ねじれの問題についてであるが、倒壊後においてはねじれ変形はそれほど顕著ではない。しかしながら、倒壊にいたるプロセスにおいてのねじれの影響の有無についてはなお検討を要する問題であると思われる。



写真 3.2.1.49 8階建てアパート全景（南面）



写真 3.2.1.50 8階建てアパート全景（北面）



写真 3.2.1.51 渡り廊下の落下（北東部）



写真 3.2.1.52 1階柱のせん断破壊（C₆₁）



写真 3.2.1.53 1階柱の曲げ破壊（C₆₄）



写真 3.2.1.54 1階耐震壁の破壊（2通りC～E間）

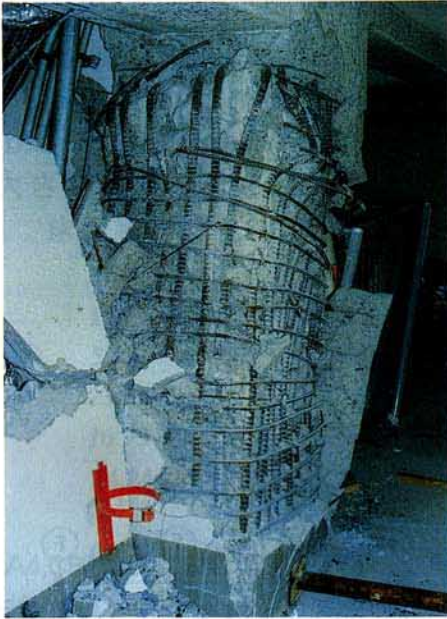


写真 3.2.1.55 1階柱のせん断破壊 (C₀₃)
主筋ガス圧接部の破断

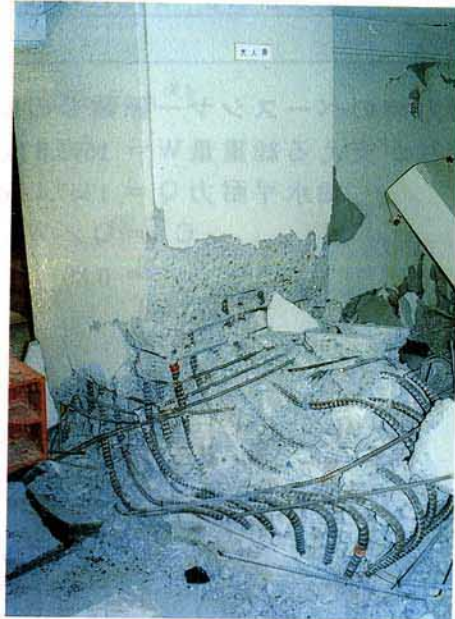


写真 3.2.1.56 1階柱のせん断破壊 (C₀₂)
帯筋の破断



写真 3.2.1.57 5階建てビル南側

表3.2.1.3 1階柱の水平体力計算に関する定数・強度等

水平耐力時のベースシヤール係数 C の推定

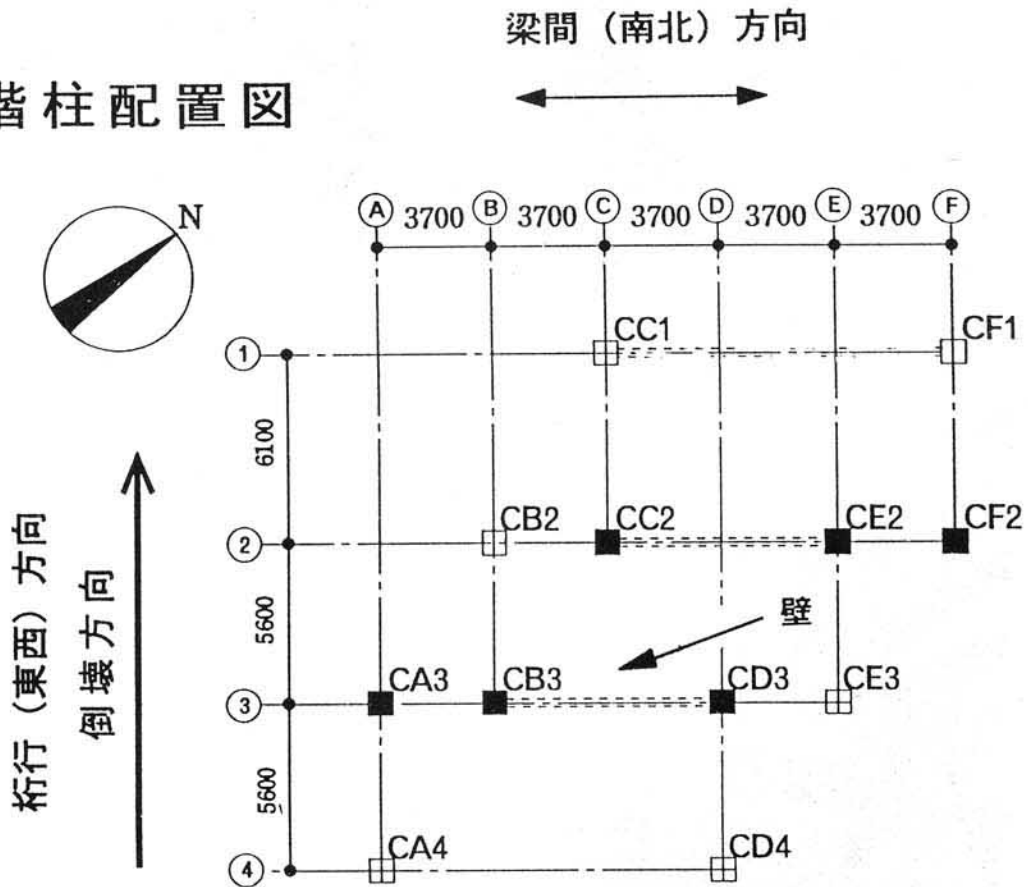
1階柱が支える総重量 $W = 1695.8$ (tonf)

総水平耐力 $Q = 1347.4$ (tonf)

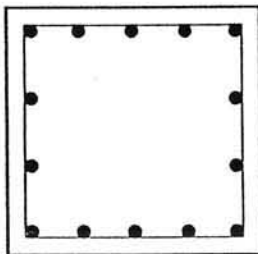
$$C_b = Q / W$$

$$= 0.80$$

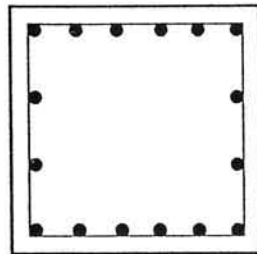
1階柱配置図



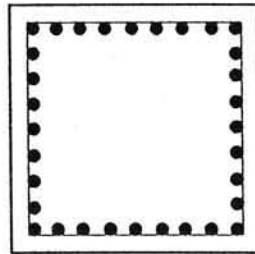
柱断面種類



Type 1



Type 2



Type 3



表3.2.1.3 1階柱の水平体力計算に関する定数・強度等（続）

◎材料強度（仮定値）

コンクリート：FC=240kgf/cm² 主筋：SD35（f_{sy}=4000kgf/cm²）

帯筋：SD30（f_{hy}=3500kgf/cm²）

◎軸力の大きさ（w=1.2tf/m²として計算）

柱番号	床面積 (m ²)	各層軸力 (tf)	総軸力 (tf)	階数
CA3,CD3	5.18	6.22	49.8	8
CA4,CD4	15.54	18.65	149.2	8
CB2,CE3	5.18	6.22	49.8	8
CB3,CD3	23.31	27.97	224.0	8
CC1,CF1	16.93	20.32	142.4	7
CC2,CE2	24.24	29.09	232.7	8

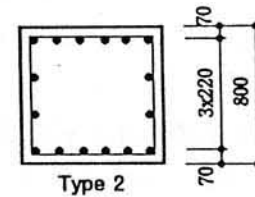
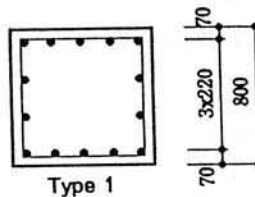
◎柱断面

TYPE 1 CA4, CB2, CC1, CD4, CE3, CF1 (h=2600mm)

主筋：14-D25 (p_s=1.11%)

帯筋：D13 @ 100

(p_w=0.32%、p_h=0.73%)

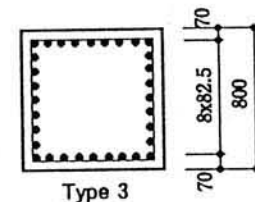


TYPE 2 CA3, CF2 (h=2600mm)

主筋：16-D25 (p_s=1.27%)

帯筋：D13 @ 100

(p_w=0.32%、p_h=0.73%)



TYPE 3 CB3, CC2, CD3, CE2 (h=2600mm)

主筋：32-D25 (p_s=2.54%)

帯筋：D13 @ 80

(p_w=0.40%、p_h=0.91%)

◎計算結果（曲げ耐力計算時の軸力は鉛直荷重時の軸力のみ考慮）

Columns	TYPE	軸力 (tf)	軸力比	曲げ耐力 ¹⁾	せん断耐力 ²⁾
CA3, CF2	2	49.8	0.03	83.4	132.0
CA4, CD4	1	149.2	0.10	99.7	136.6
CB2, CE3	1	49.8	0.03	73.1	128.6
CB3, CD3	3	224.0	0.15	(190.5)	(159.4)
CC1, CF1	1	142.4	0.09	98.0	136.0
CC2, CE2	3	232.7	0.15	(192.4)	(160.1)

水平耐力の単位は tonf である。

1) 曲げ耐力計算式（建築学会略算法）

$$M_u = \begin{cases} 0.5a_g f_{sy} g_1 D + 0.5N g_1 D, & 0 > N \leq N_{min} \\ 0.5a_g f_{sy} g_1 D + 0.5ND \left(1 - \frac{N}{bDf'_c}\right), & N_b \geq N \geq 0 \\ \left\{0.5a_g f_{sy} g_1 D + 0.024(1 + g_1)(3.6 - g_1)bD^2 f'_c\right\} \left(\frac{N_{max} - N}{N_{max} - N_b}\right), & N_{max} \geq N \geq N_b \end{cases}$$

2) せん断耐力計算式（修正荒川式）

$$Q_u = \left\{ k_u k_p \frac{0.115(f'_c + 180)}{a/D + 0.12} + 2.7\sqrt{\rho_w f_{wy}} + 0.1 \frac{N}{BD} \right\} B_j$$

(4) 被害要因の検討

代表的な被害パターンの要因についての検討を以下に記す。

a) 中間階の崩壊

① はじめに

兵庫県南部地震においては中高層の鉄筋コンクリート造建築物の中間階が完全に崩壊するという我が国では過去に例がない被害が数多く見られた(写真3.2.1.58, 3.2.1.59参照)。ここではその被害の主要な要因について考察を行った。

② 旧基準で設計された建築物の保有水平耐力の推定

被害が層崩壊であることから層の保有水平耐力を柱の耐力の和として検討する。また崩壊した層の上下階の柱には軽微な被害しか生じていない例が多いと思われることから、柱のせん断耐力は曲げ耐力より大きいと仮定する。

なお、この仮定については主筋比と軸力比の小さい上層階の柱については十分妥当な仮定である。

柱の曲げ耐力は下式で表される。

$$M_u = 0.8 a_t \sigma_y D + 0.5 N D (1 - N / b D \sigma_B) \quad \dots (4)$$

ここで

- M_u : 柱の曲げ耐力 (t f c m)
- a_t : 柱の引張主筋量 (c m²)
- σ_y : 引張主筋の材料強度 (t f)
- N : 柱の作用軸力 (t f)
- σ_B : コンクリート強度 (t f / c m²)
- b : 柱の幅 (c m)
- D : 柱の成 (c m)

$N / b D \sigma_B$ は0~0.2程度であること、中間層では0.1程度であることから(4)式を(5)式のように簡略化する。

$$M_u = 0.8 a_t \sigma_y D + 0.45 N D \quad \dots (5)$$

柱の曲げ耐力時のせん断力は(6)式で表される。

$$Q_m = 2 M_u / h. \quad \dots (6)$$

ここで

- Q_m : 柱両端曲げ降伏時のせん断力 (t f)
- h : 柱のクリアスパン高さ (c m)

i層の保有水平耐力は、(6)式で与えられる各柱のせん断力の総和をi階以上の階の重量(各柱の軸力の総和)で除すことにより得られる。

ここで、以下の仮定をおく。

- I) 柱の断面は全て同一

- II) ある階における全ての柱の引張主筋量は一定
- III) 柱の丈と階の開口高さの比 (D/h_0) は $1/3$
- IV) 柱断面が床面積に占める比は $1/100$
- V) 平均建物重量は 1.2 tf/m^2
- VI) 主筋の引張りに対する材料強度は 3.6 tf/cm^2

上記の仮定のもとで i 階の保有水平耐力は (7) 式で与えられる。

$$mC_i = 160 / (n+1-i) * i p_t + 0.3 \quad \dots (7)$$

ここで

- mC_i : i 階の保有水平耐力時せん断力係数
- $i p_t$: 柱の引張主筋比
- n : 建物の階数
- i : 当該階の地上からの階数

(7) 式の右辺の第1項は柱の引張主筋量による項で第2項が柱の軸力による項である。式よりわかるように保有水平耐力に軸力は大きな影響を及ぼし、もし上下動で軸力が半分になると第2項が0.15になり、保有水平耐力は大幅に低減する。

③ 考察

(7) 式は震害の状況に基づいて柱の曲げ強度のみに基づいて算定した結果である。柱部材が曲げ強度に達する以前にせん断破壊したり、あるいは、はりがそれ以前に耐力に達すると保有水平耐力は (7) 式で与えられる値よりも小さくなる。従って、(7) 式は建築物のメカニズムを勘案した精算による耐力の一つの上限とも言える。なお、柱のせん断破壊については、以下の例のように主筋量が少なく、軸力比が小さい場合、せん断耐力が曲げ耐力を大きく上回るのので、下層階の柱を除きせん断破壊することはない。また、柱がせん断破壊する場合であっても、柱の終局せん断耐力が有する許容せん断力に対する余裕度を考慮すれば、せん断力係数として、1971年以前の基準によったものであれば、0.3~0.4程度、1971年以降の基準によったものであれば0.4~0.6程度の耐力が期待できよう¹⁾。

図3.2.1.4に最小鉄筋比である0.8%にほぼ相当する最小引張主筋比 $i p_t = 0.003$ の場合の (7) 式の結果を現行基準による保有水平耐力の要求値と比較して示す。この場合は中間層で強度不足 (図中ハッチした領域) となる。

実際の建築物においては上層階に比べ下層階で設計用せん断力が大きくなることから柱断面や柱主筋が増されるのが普通である。これらはいずれも下層階の保有水平せん断力係数を増すことになる。7層以上の建築物では中間階までSRC造とし、上層階のみがRC造となることが多く、このような場合にはRC造への切り換え階での強度不足が顕著となり、写真3.2.1.43に見られるように今回の地震ではその階で崩壊している例がある。図中にはこのような場合の例として下部7層の柱主筋比 p_t を0.008とした場合の耐力の推定値を示している。図から明らかなように中間層の強度の余裕のなさがより強調されている。

図3.2.1.5は、図3.2.1.4と同様な条件で10, 8, 6, 4階建の建物について検討を行ったものであり、前述の柱曲げ耐力時のせん断力係数と A_i 分布によるせん断力係数が接する時の各

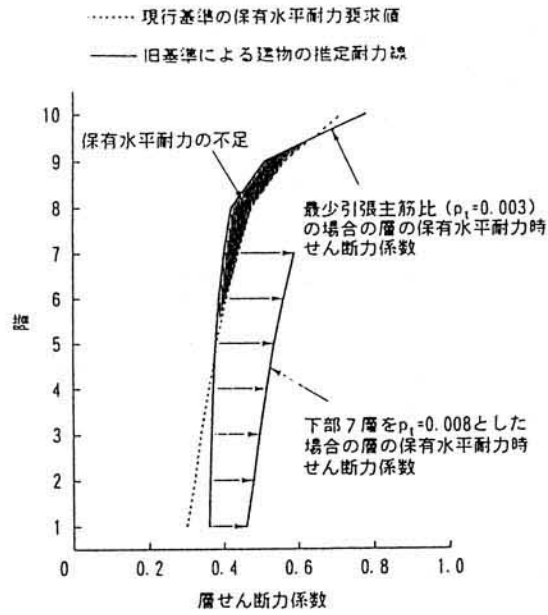


図3.2.1.4 旧基準による建物の保有水平耐力時せん断力係数の推定値

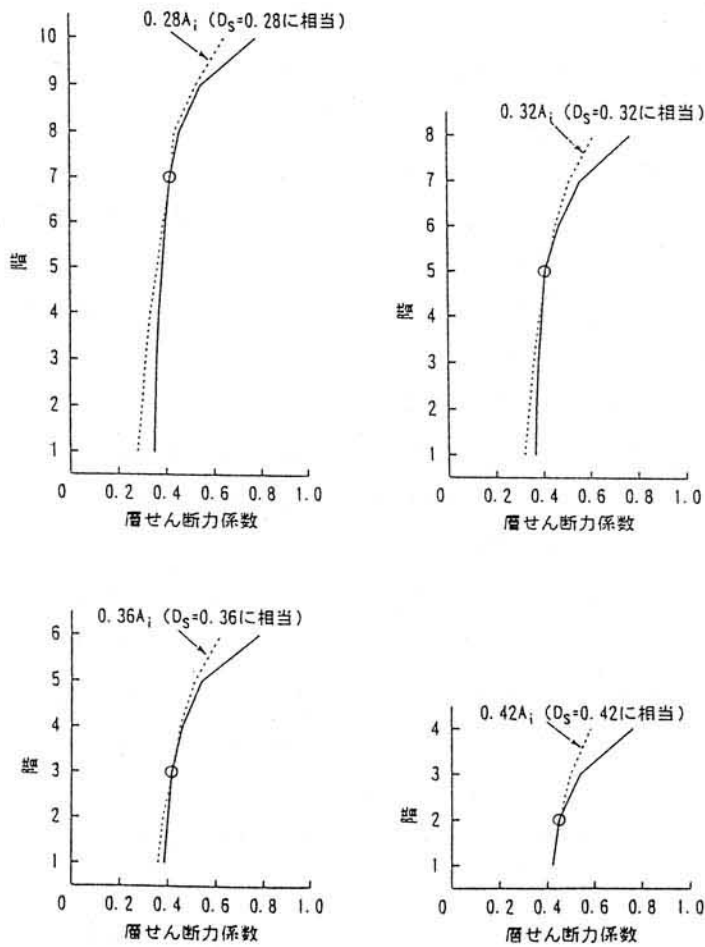


図3.2.1.5 旧基準による建物の保有水平耐力推定値

階のせん断力係数を示したものである。図よりわかるように高層→低層になる程せん断力係数の一致する点（図中○印を記す）は相対的に低い階で生じ、且つ一致する時の耐力のD。換算値は大きい。このため低層の建物では、旧規準によった建物でも曲げ耐力には余裕があり、破壊が生じるとすれば下層部のせん断破壊の形式になると思われる。6階以下で多い1階の破壊はピロティの建築物を除けばこのことによる被害が多いと思われる。

上記の検討において、どの階で耐力と設定したせん断係数と一致するかは想定するせん断力係数の分布に大きく作用され、旧基準の規定のような分布形では最下階で一致する。今回の地震時の分布形はここで論じているような建築物では現行規準のA₁分布に近いせん断力の分布であったと考えられる。

④ まとめ

中・高層の旧基準で設計された建物での中間層の被害の要因として以下のことが考えられる。

7) 旧基準と現行基準では、要求する設計用のせん断力係数が上層階で異なり（旧基準では全階ほぼ0.2、現行基準ではA₁分布により上層階ほど大きなせん断力係数を設定している）、旧基準で設計され、かつ設計要求値に対して強度的な余力が乏しい建築物では、もともと上層階での強度不足が生じる可能性がある。ただし、最小配筋規定等で最上階およびその近傍の階はかなりの強度を有している。今回の地震では、6～12階程度の中・高層建物には旧基準のせん断力分布よりもA₁分布に近いせん断力分布のせん断力が作用したと思われ、顕著な強度不足である中間層のある特定階に被害が集中した。

1) 7層以上の建築物では、その多くが下部SRC造、上部RC造と考えられる。このような構造を有する被害建築物で、柱の強度の急変につながる柱主筋の大幅な低減が被害階（RC造への切り換え階）で確認されている。またこの階で柱断面のしぼりも確認されている。このような配筋法や断面のしぼりにより、柱強度の低い特定階に被害が集中した。

2) 柱の曲げ耐力に及ぼす軸力の影響は大きなものがある。もし上下動の影響でこの軸力が上層階で著しく小さくなったとすれば、それによる保有水平耐力の低下により、その層が一気に水平変形を生じ崩壊した可能性がある。

3) 旧規準で設計された建築物であっても1971年以降のRC規準によった建築物の被害は少ない。これはせん断設計の大幅な変更によるものであり、結果として1971年以降の規準によった建築物では曲げ耐力を含めた建築物全体の構造性能がそれ以前に比べ著しく向上しているためと思われる。

参考文献

1) 倉本 洋、壁谷澤寿海「現行の許容応力度設計法における部材強度安全率の評価」：
コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 15、No. 2、1993

b) ピロティを有する鉄筋コンクリート造建築物の被害

① はじめに

ピロティを有する鉄筋コンクリート造建築物（以降、ピロティ建築物と略記）の被害は、今回の地震における特徴的被害の1つであった。この被害は、中高層建築物の中間階の被害、ねじれ、1層のせん断破壊等の様に現行基準以前の建築物に集中した訳ではなく、現行基準以前・以降の建築物に拘わらず見られた。

大都市に多いピロティ建築物を今回の様な地震被害から救うために、今回のピロティ建築物の被害要因について考察を試みる。ここでのピロティ建築物は、1階が駐車場または店舗等、2階以上は集合住宅に使用されるため、2階までに多くある戸境壁が1階で無くなり1階は独立柱のみで剛性が小さいので、崩壊メカニズムは1階の層崩壊となるものとして考察する。

② ピロティ建築物の問題点

ア) せん断力係数分布

頂部にやや大きなせん断力を要求する現行基準のせん断力係数分布 A_i は、平均的な振動特性を有する建築物には適切な層の強度分布を与えられると思われるが、ピロティ建築物の様に剛性分布が悪いものには必ずしも適切な層の強度分布を与えない。動的解析による検討を行わないで多層の建築物における一部層に変形が集中するモードに対応した適切なせん断力係数を設定することは非常に困難である。

イ) ピロティの応力、特に軸力とせん断力

ピロティ建築物における柱の設計用せん断力は、ア)で述べたようにその高さ方向の分布ばかりでなく、イ)でも述べる通り、その大きさを適切に設定することは非常に困難である。さらに、1スパンの様に、柱の軸力が大きく変動する場合には、柱の曲げ強度、せん断強度、剛性評価に軸力の相互作用効果が大きく影響する。

1階柱の柱頭・柱脚両端の曲げ降伏を仮定して設計するにしても、せん断設計においては作用軸力を適切に評価する必要がある。つまり、軸力とモーメントの相互作用を適切に考慮した解析でなければピロティ建築物の設計用応力の算出、ならびに軸力、モーメント、せん断力に対する合理的な設計は大変難しい。

ウ) 剛性率、偏心率

ピロティ建築物は設計の段階からその問題点を意識しても非常に設計が難しい構造形式であることはア)、イ)で述べたとおりである。しかし、ピロティ建築物と意識しないで設計した結果として被害を被る場合も考えられる。これには次の場合が考えられる。解析のモデル化において、1階は独立柱しかないためモデル化に大きな問題は生じないが、2階以上に2次壁を有する場合にはそのモデル化が解析結果、ひいては、設計結果に大きく影響する。

すなわち、2次壁を無視したモデル化を行ない、いわゆる梁崩壊型の設計としたが、実際には、2次壁が水平力に良く抵抗したため、1階の層崩壊となってしまう場合である。これに、偏心の問題が加われば1階の層崩壊はさらに促進されるであろう。

2次壁の影響は、短柱のせん断破壊、および偏心の問題として十勝沖地震以来、取上げられているが、今回は、建築物全体に及ぼす剛性バランス（立面的、平面的）の確保の面から、再度その評価を適切に行なうことが非常に重要である。

1) 層崩壊建築物の耐震性

今後詳細に検討をする必要があるが、同じ階数、高さ、固有周期を有し、最終的な崩壊モードのみ異なる振動系であれば、地震動時の入力エネルギー（転倒モーメント）は同一であろう。この入力エネルギーを低層建築物であればともかく、高層建築物においても、1層のみで吸収することは困難であろう。低層建築物でも通常以上の部材強度（曲げモーメント、せん断力）が必要なことは容易に確かめることが出来る。入力エネルギー一定の仮定と必要とされる強度の関係を検討する必要がある。

2) 復元力負勾配とP-Δ効果

ピロティー建築物は、梁全体崩壊系の様に床スラブ等の効果により降伏後も耐力上昇を期待できる機構とは異なり、1階が独立柱からなるため、柱降伏後変形の増大につれて耐力が上昇する要素がない。そのため、1階層崩壊形成後の変形に伴うP-Δ効果（変形角増大に伴う、自重による転倒モーメントの増加）が大きくなる。層崩壊層の柱の降伏を抑えるか、変形制限を厳しくする必要がある。

③ まとめ

ピロティー建築物の設計においては、振動性状、軸力とモーメントの相互作用、P-Δ効果、上階の耐力壁および二次壁の剛性等を適切に評価し、ピロティー部の設計法を検討・確立する必要がある。

c) 鉄骨鉄筋コンクリート造建築物の被害

① はじめに

鉄骨鉄筋コンクリート（以下、SRCと略記）造建築物は、幸いにも過去の地震において著しい被害を受けたものはなかった。1978年の宮城県沖地震でも、建築物被害の特徴の一つとしてSRC造建築物の被害が挙げられるが、そのほとんどが非構造壁のせん断破壊であり、構造躯体そのものについては小破程度以下であった。しかしながら、今回の兵庫県南部地震では、SRC造建築物についても大きな被害を生じた。今回の地震によるSRC造建築物の被害原因としては数多く挙げられるが、現地調査結果等によれば、その特筆すべき点は概ね以下に分類できよう。

ア) 下層部SRC造と上層部RC造からなる混用構造建築物の崩壊

イ) 格子形SRC造建物の被害

ウ) 非埋め込み形式柱脚の被害

エ) SRC柱内の鉄骨継手の破断

オ) 耐震壁における壁筋の定着破壊

カ) 非構造壁のせん断破壊

本節では、上記6項目についての被害例を紹介し、その要因について検討する。

② 被害例

ア) 下層部SRC造と上層部RC造からなる混用構造建築物の崩壊

写真3.2.1.58は神戸市中央区三宮付近に建てられた7階建ての建築物の被害例を示す。この建築物は3階が層崩壊している。一見するとRC造建築物のようにも見受けられるが、写真3.2.1.59に示す解体現場の状況から、2層部分までSRC造であることがわかる。写真3.2.1.60は神戸市中央区にある比較的新しい事務所ビルの被害状況を示したものである。この建築物も2層部分までがSRC造であり、SRC造とRC造の切り替え位置で大きな被害を生じた例である。両建築物共、層の強度分布が切り替え位置で急減したことが被害の一因であると推察される。

イ) 格子形SRC造建物の被害

格子形SRC部材は、山形鋼を主材に、帯板を腹材とし、それぞれを鋼材などを介してリベットで結合するものであり、1940年代から1970年代の前半までは、ほとんどのSRC造建築物に使用されていたものである。H型鋼等を用いた充腹型SRCに比べると、せん断に対する脆弱さや軸力保持能力に欠ける面が見られる。

写真3.2.1.61は、神戸市中央区にある11階建ての集合住宅における4層部分の格子形SRC柱の破壊状況を示したものである。この建築物では、破壊した階の直下階までは充腹形SRCが使用されており、剛性および保有水平耐力分布の急変も一因と考えられるが、格子形SRC部材の持つせん断に対する脆弱さと充腹形SRC部材に比べて軸力保持能力が欠けていることが大きな被害をもたらす結果になったと推察される。

写真3.2.1.62は、西宮市にある8階建て事務所ビルの7階の格子形SRC柱の付着割裂破壊を示している。この建築物はセンターコア形式の壁フレーム構造である。被害は7階部分に集中しており、外周柱のほとんどが写真のような付着割裂破壊を生じている。

り) 非埋め込み形式柱脚の被害

写真3.2.1.63は、神戸市中央区の8階建て事務所ビルにおける連層耐震壁の付帯柱の脚部において非埋め込み柱脚部が引張破壊して、回りの主筋が破断および座屈を生じた例である。連層耐震壁の付帯柱は地震時に大きな引張力を受けるが、この例ではその際、ベースプレートを結合しているアンカーボルトの抜け出しあるいは破断が生じたものと推察される。今回の地震では、このタイプの被害も多く見受けられた。

い) SRC柱内の鉄骨継手の破断

写真3.2.1.64は、西宮市にある8階建て事務所ビルの5階の妻壁の付帯柱における内蔵鉄骨の継手の破断による被害である。この被害も前述の非埋め込み柱脚の場合と同様に、連層耐震壁の曲げに伴って付帯柱に生じる引張力によって鉄骨継手が破断し、主筋が引張降伏した後、逆方向の曲げによって座屈したものと推察される。この建物は、1960年代後半に建設されたものであり、当時の鉄骨の接合部の設計に関しては現行基準における保有耐力接合（架構の降伏メカニズム時の応力を伝達し得る接合）の概念はなく、旧基準による外力による応力に基づいて行われたため、予想を超えた入力に対応できずに破壊したものと考えられる。

わ) 耐震壁における壁筋の定着破壊

写真3.2.1.65は、神戸市中央区にある9階建ての事務所ビルの被害状況を示している。この建物は充腹形SRC造であり、構造躯体自体の被害はそれほど大きなものではないが、連層耐震壁において壁横筋のSRC柱への定着不良による破壊が生じている。SRC柱の内蔵鉄骨の断面寸法によっては、柱に取り付く耐震壁あるいはたれ壁、腰壁の横筋の柱内への配筋が困難になり、柱主筋の外側に配筋する場合も出てくる。建築学会の現行規準では、このような場合に壁筋に十分な定着長さをとることが推奨されているが、この建物は旧基準によっていたため、それらの配慮がなされていなかったものと推察される。

か) 非構造壁のせん断破壊

冒頭で述べたように、1978年の宮城県沖地震ではSRC造中高層住宅において、出入口、窓等を含んだ非構造壁のせん断破壊により、避難時にドアの開閉機能が不能になった被害が数多くあった。今回の地震においても全く同様な非構造壁のせん断破壊による被害が多数の集合住宅において生じている。写真3.2.1.66は、宝塚市にある11階建ての集合住宅の被害例である。ほぼ全戸数に亘ってドア周辺の非構造壁のせん断破壊が生じている。主体骨組の構造性能もさることながら、ドア周辺の非構造壁の性能についても再検討していく必要がある。

③ まとめ

今回の地震によるSRC造建物の被害調査から、今後検討すべき項目として以下が挙げられる。

ア) SRC造とRC造の混用構造建築物の、高さ方向の適切な耐力分布の設定

イ) SRC柱における鉄骨柱脚および継手の性能評価法（特に、この問題は、旧基準で設計された既存建物の耐震性能を判定する上で重要と考えられる。）

ウ) 連層耐震壁における壁筋の柱および梁への定着方法

エ) 非構造壁の剛性評価法および変形のクライテリア



写真 3.2.1.58 7階建事務所ビルの被害



写真 3.2.1.59 建物解体現場



写真 3.2.1.60 比較的新しい事務所ビルの被害

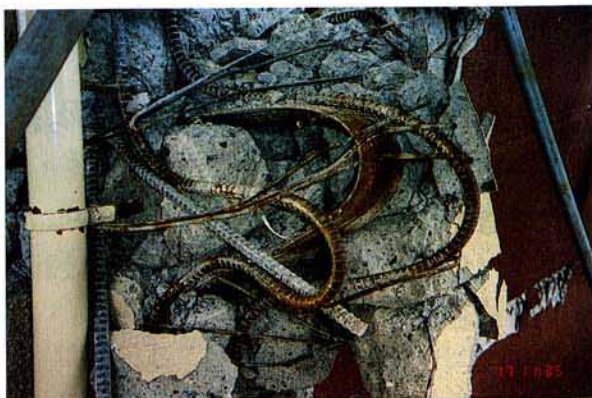


写真 3.2.1.61 非充腹形SRC柱の破壊



写真 3.2.1.62 SRC柱の付着割裂破壊



写真 3.2.1.63 柱脚の被害



写真 3.2.1.64 鉄骨継手の破断



写真 3.2.1.65 壁筋の定着破壊



写真 3.2.1.66 非構造壁の被害

d) 材料・施工について

① はじめに

今回の地震は、数多くの鉄筋コンクリート造建築物に倒壊、落階、大破などの著しい被害をもたらした。これらの被害に対する原因の究明と今後の対策については種々の角度から検討がなされているが、鉄筋コンクリートの材料・施工面からの検討も必要である。

今回の地震で倒壊や大破など大きな被害を受けた鉄筋コンクリート造建築物においては、帯筋などの鉄筋末端部の処理が不適切であったこと、鉄筋の圧接不良があったことなどが指摘されるとともに、アルカリ骨材反応によるひび割れ、塩害による鉄筋腐食、コンクリートの強度不足なども構造耐力に影響を与えたのではないかとの疑いがもたれている。本報告は、鉄筋コンクリート造建築物の被害状況と材料・施工との関連を把握するために、被災した鉄筋コンクリート造建築物からコア供試体を採取し、コンクリートの圧縮強度およびヤング係数を調べるとともに、塩害、アルカリ骨材反応、配筋状況などについても調べた結果をまとめたものである。

② 調査方法

鉄筋コンクリート造建築物の被害における材料・施工上の問題点を把握するために、神戸市、芦屋市および西宮市において4回の調査を実施した。

1回目の調査は、鉄筋コンクリート造建築物の被害の概要を把握するために、1月25日から1月28日にかけて約140棟を対象に、外観について目視観察を行い、さらにコンクリート片約30個を採取して骨材の種類やコンクリート中に含まれる塩化物イオン量などの分析を行った。

2回目の調査は、被害の詳細を調べるために、1月30日から2月4日にかけて5棟の被災した集合住宅を対象に建物内外の被害状況を目視によって詳細に調査した。

3回目の調査は、被災した建築物におけるコンクリートの圧縮強度およびヤング係数を調べるために、3月2日から3月4日にかけて、5棟の被災した鉄筋コンクリート造建築物からコンクリートコアを採取し、圧縮強度およびヤング係数を試験した。

4回目の調査は、被害におけるアルカリ骨材反応の影響を調べるために、4月17日から4月19日にかけて応急危険度判定でアルカリ骨材反応の疑いがあるとされた16棟を対象に視察し、そのうち8棟から破砕されたコンクリート片の採取を行った。

コンクリートの圧縮強度およびヤング係数の調査は、表 3.2.1.4に示す5棟の被災建築物から直径10cmのコア供試体を数本ずつ採取し、JIS A 1107「コンクリートからのコア及びはりの切り取り方法及び強度試験方法」に拠って試験した。コア供試体の採取箇所は、原則として被害の大きい階とその階を中心に上下の階から選定し、1箇所(同一階、同一部材)につき1~4本採取した。大きな被害を受けた階では、比較的健全な部材とせん断ひび割れなどが入った部材を選定し、ひび割れが入っている部材では目に見えるひび割れはない比較的健全だと考えられる部分からコアを採取した。採取したコアは、両端を切断し、両端面のキャッピングは研磨仕上げとした。圧縮強度試験時には、供試体寸法と質量を測定して比重を求めるととも

表 3.2.1.4 コア供試体採取対象建築物と主な被害状況

記号	用途	階数	竣工年	コンクリートの設計基準強度 kgf/cm ²	構造形式	被害区分	主な被害状況
A	事務所	8	昭和32年	210	5階柱立上がり中間部より下はSRC造、それより上はRC造	倒壊	6階の全層崩壊
B	事務所	4	昭和35年	180	RC造	小破	1階柱のせん断ひび割れ
C	事務所	8	昭和46年	180	SRC造	大破	7階柱及び耐震壁のせん断破壊
D	ホールと本館との間の部分	2	昭和46年	210	RC（2階床は4本の柱で、3階床は4本の柱と4本の長柱で支持されたラーメン構造）	大破	2階床を支える4本柱の柱頭部せん断破壊
E	体育館	3	昭和47年	180	柱及び壁はRC造、大梁はS造、屋根はPC	倒壊	PC屋根落下、2階柱曲げ破壊

に、コンプレッソメーター（圧縮ひずみ計）を用いて応力-歪曲線を測定し、ヤング係数を求めた。ヤング係数は、圧縮強度の1/3の割線係数とした。

③ 調査結果と考察

ア) コンクリートの圧縮強度およびヤング係数

試験結果の一覧を表 3.2.1.5に示す。また、建築物ごとのコンクリートの圧縮強度の分布を図 3.2.1.6に示す。以下、これらの試験結果について考察する。

建築物Aのコンクリートの設計基準強度は 210 kgf/cm^2 であるが、建物から採取したコア供試体の圧縮強度はいずれも設計基準強度を下回って全体的に非常に低い値であり、その平均値は 130 kgf/cm^2 であった。本建築物の被害状況は6階全体の層崩壊であるが、この被害に対する構造計画上の原因分析では、本建築物の構造が1階から5階柱の中間部までがSRC造で、そこから上がRC造となっているため、6階部分で建築物の強度や剛性が急に変化し、層崩壊を引き起こしたのではないかと説明されている。これをコンクリートの圧縮強度からみると、層崩壊した6階をはさんだ5階から7階までの各階ごとの圧縮強度の平均値は、5階が 122 kgf/cm^2 、6階が 131 kgf/cm^2 、7階が 135 kgf/cm^2 であり、層崩壊した6階のコンクリートの圧縮強度が特に低いというわけではない。しかし、コンクリートの圧縮強度の平均値が設計基準強度を下回り、全体的に非常に低い値であったために6階において構造体としての強度や剛性が足りなくなったということも考えられる。また、層全体が崩れて落階している6階コンクリートの状況をみれば、コンクリートの圧縮強度が非常に低かったために、何カ所かで始まった破壊が層全体の崩壊につながったことも考えられる。

建築物Bの地階壁のコア供試体によるコンクリートの圧縮強度の平均値は 135 kgf/cm^2 であり、外部ドライエリア（地階）の擁壁の圧縮強度は 264 kgf/cm^2 で、両者に非常に大きな差があった。本建物のコンクリートの設計基準強度は 180 kgf/cm^2 であり、両方のコンクリートの調合にそれほど大きな差があるとは考えにくく、この差は土に接しない地階壁と土に接する擁壁との湿潤条件の違いがコンクリートの養生に影響を及ぼした結果ではないかと考えられる。また、本建築物の被害状況は、1階の柱のせん断ひび割れであるが、この建築物では1階の柱コンクリートの圧縮強度を調べていないので、明確なことはいえない。

建築物Cのコア供試体によるコンクリートの圧縮強度の平均値は 139 kgf/cm^2 であり、設計基準強度 180 kgf/cm^2 に比べて非常に低い値である。本建築物の被害状況は、7階の柱および耐震壁のせん断破壊であり、被害が集中している7階のコンクリートの圧縮強度の平均値は 138 kgf/cm^2 であるが、その上下の階である6階は 135 kgf/cm^2 、8階は 145 kgf/cm^2 で、7階が特に低いということはない。しかし、本建築物においても建築物Aと同様にコンクリートの圧縮強度が全体的に非常に低い値であったために、7階において構造体としての強度や剛性が足りなくなって、7階に被害が集中して出たと考えられる。

建築物Dのコア供試体によるコンクリートの圧縮強度の平均値は 250 kgf/cm^2 であり、コンクリートの施工状況も良好であった。本建築物の被害状況は、2階床を支える1階柱の柱頭部のせん断破壊であるが、3階床を支える長柱には被害はみられなかった。2階床以上の構造体を支える1階柱には大きな入力があったために柱頭部でせん断破壊したと考えられる。

表 3.2.1.5 コア供試体によるコンクリートの試験結果

記号	コア採取箇所	最大荷重 t	高さ直径比	圧縮強度 kgf/cm ²	ヤング係数 ×10 ⁵ kgf/cm ²	表乾比重
A	5階柱	10.77	1.61	134	1.31	2.31
	5階壁	8.72	1.66	109	1.54	2.35
	6階柱(1)	8.22	1.74	103	1.27	2.30
	6階柱(2)	15.05	1.60	187	—	2.37
	6階壁	8.93	1.10	104	—	2.30
	7階柱(1)	7.36	1.78	93	—	2.32
	7階柱(2)	12.53	2.00	161	1.52	2.31
	7階壁	12.75	1.25	152	1.88	2.36
	B	地階壁(1)	10.83	1.41	132	1.53
地階壁(2)		11.04	1.22	131	—	2.37
地階壁(3)		12.45	1.04	143	—	2.38
地階擁壁		22.05	1.28	264	—	2.36
C	6階柱	14.08	1.06	162	—	2.29
	6階壁	9.39	1.01	108	—	2.24
	7階柱(1)	14.41	1.54	178	—	2.33
	7階柱(2)	10.68	1.07	123	—	2.28
	7階壁(1)	11.90	0.99	135	—	2.26
	7階壁(2)	11.89	1.36	144	—	2.35
	7階壁(3)	11.40	1.12	133	—	2.26
	7階壁(4)	9.57	1.18	113	1.37	2.26
	8階柱	12.38	1.18	146	—	2.29
8階壁	11.81	1.38	143	—	2.30	
D	長柱 1階	20.21	1.99	259	1.58	2.32
	長柱 2階	20.39	2.00	261	2.08	2.31
	1階柱(1)	21.67	1.38	263	—	2.32
	1階柱(2)	18.19	1.27	217	—	2.30
E	3階壁(1)	21.09	1.45	258	—	2.31
	3階壁(2)	14.33	1.48	176	2.02	2.14
	3階壁(3)	20.17	1.38	244	—	2.29
	3階壁(4)	15.42	1.30	185	—	2.34

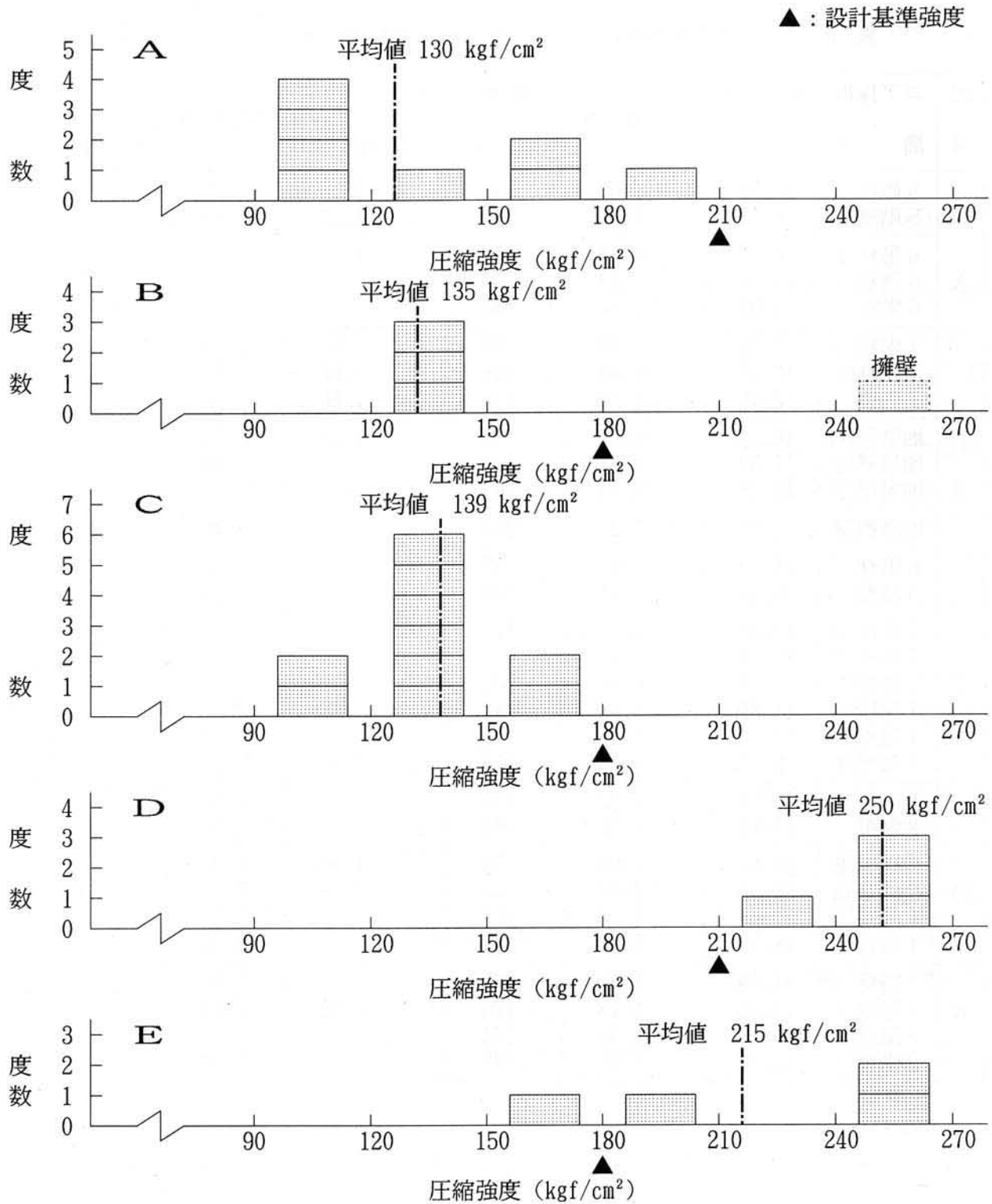


図 3.2.1.6 建築物ごとの圧縮強度の分布

建築物Eのコア供試体によるコンクリートの圧縮強度の平均値は 215 kgf/cm²であり、一部に圧縮強度が設計基準強度の 180 kgf/cm²以下のコア供試体もあったが、全体としては設計基準強度を上回っていた。本建築物では、コア供試体を一つの壁から高さを変えて採取したが、コンクリートの圧縮強度には一定の傾向はみられなかった。本建築物の被害状況は、S造の梁とRC造の壁との間に架けたPC屋根の落下であるが、壁の剛性が足りなかったために梁と壁の間が開き、屋根が落下したものと考えられる。壁の剛性をコンクリートの圧縮強度で確保することはきわめて困難であり、本建築物の場合は、構造物の被害にコンクリートの圧縮強度が影響を及ぼしたとは考えられない。

コンクリートの圧縮強度と建築物の被害状況との関係は、無被害の建築物からコア供試体をほとんど採取していないため明確な傾向はつかめないものの、1階ピロティ柱のせん断破壊、PC屋根の落下などの構造計画上の問題があるものを除くと、コンクリートの圧縮強度が設計基準強度より低いために建築物の被害を大きくしたと考えられる。

ヤング係数は、日本建築学会の鉄筋コンクリート構造計算規準における式と比べてやや小さいが、構造体コンクリートの圧縮強度およびヤング係数の実調査結果と比較すると、特に小さいわけではなく、ほぼ妥当な値となっている。

イ) コンクリート中の塩化物イオン量と鉄筋の腐食状況

被災した建築物16棟の破壊された部材から採取したコンクリート片を用いて塩化物イオン量を測定し、その度数分布を示したものが図 3.2.1.7 である。塩化物イオン量の測定値結果の最小値は 0.09 kg/m³、最大値は 2.50 kg/m³、平均値 1.05 kg/m³であった。この値は、阪神地区における既往の調査結果とほぼ一致している。これらの建築物は、建設省から「コンクリート中の塩化物総量規制基準」が通達された昭和61年以前に施工されたものと推測されるが、このため、塩化物イオン量が高い値を示したものと考えられる。塩化物イオン量の測定値が 0.09 kg/m³の建築物は昭和23～24年頃に建設されたもので、当時川砂が使用されていたことが考えられる。一方、戦前の建築物でも 1.04 kg/m³という比較的大きな値を示すものもみられた。

被災した建築物の部材において露出していた鉄筋の腐食状況を観察したところ、主筋に著しい錆がみとめられたり、腐食によって断面欠損が生じている帯筋やあばら筋を有する部材が数多くあった。これらの鉄筋腐食のひとつの原因として、コンクリート中の塩化物イオン量の影響があるものと考えられる。

ウ) アルカリ骨材反応

1回目の調査においては約140棟中の1棟について壁面に原因不明のひび割れが発生しているのがみとめられたが、壁には地震による被害はみられなかった。また、採取したコンクリート片約30個のうち、反応性骨材の疑いのあるものは3個あったが、破片には膨張に起因すると考えられるひび割れはみとめられなかった。

4回目の調査では、所在の確認された15棟のうち3棟にアルカリ骨材反応によると推測される部材の軸方向に沿ったひび割れが明瞭にみとめられ、そのうちの1棟は基礎梁が掘り出さ

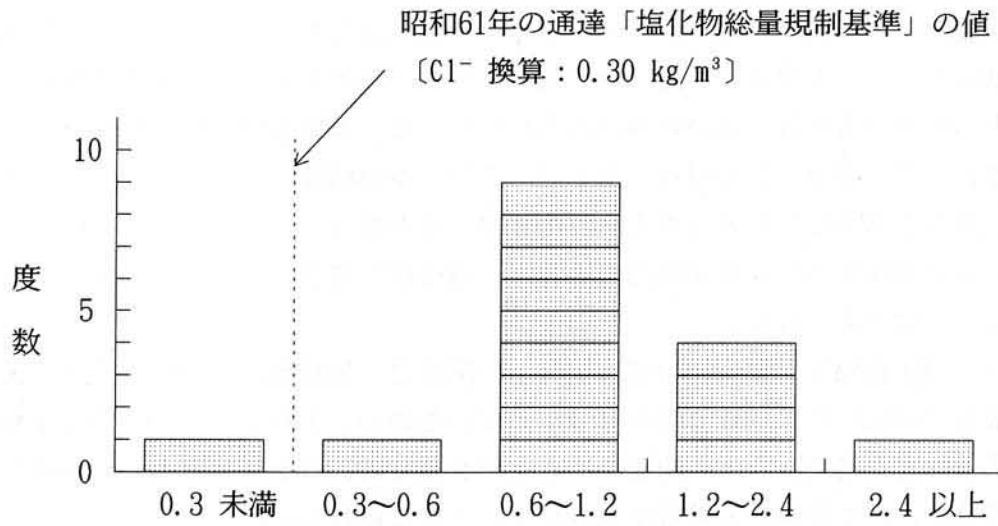


図 3.2.1.7 塩化物イオン (Cl⁻) 量 (kg/m³)

れており、その部分のコンクリートの粗骨材周囲には反応リムがみとめられ、アルカリ骨材反応が起きていたことは間違いないと考えられた。この他にも、疑わしいひび割れが発生しているものが1棟あり、これらについては、コンクリート片の目視観察の結果、粗骨材の周囲に反応リムがみとめられ、アルカリ骨材反応が生じていた可能性が高いと判断された。また、外観上、アルカリ骨材反応に起因するひび割れはみとめられなかったが、コンクリート片の目視観察では反応性があると思われる骨材を使用しているものが2棟あった。著しいアルカリ骨材反応が生じた部材では耐力の低下が懸念されるが、今回の調査の範囲では、アルカリ骨材反応によるひび割れと地震による被害との間には、明確な関係は認められなかった。

エ) コンクリートの充てん状況

被災した建築物の破壊した部材を目視観察したところ、コンクリートの充てん状況はおおむね良好であった。しかし、建設年代が古いと思われる建築物には柱・はりに部分的にジャンカがみとめられるものがあった。これらの建築物では粗骨材に砂利を使用しているものが多く、また、配筋状況も密でないものが多い。そのため、充てん状況の良否は、配筋状態よりむしろコンクリートの調合の影響が支配的であったと考えられる。

カ) 鉄筋末端部の処理

柱のフープ筋や梁のスターラップ筋などのせん断補強筋の末端部には135°フックをつけ、十分な余長をとることが望ましい。しかし、今回の4回の調査では、せん断補強筋の末端部を両方とも135°フックとしているものはみとめられなかった。せん断補強筋の一方の末端部を135°フックとすると、もう一方は90°フックで止めている例が多く、さらに末端部は両方とも90°フックとしているものも多くみられた。せん断補強筋の末端部を135°フックに折り曲げた場合には、その部分が開いている例はなかったが、折り曲げた箇所鉄筋が切断されている例があった。また、両方の末端部を90°フックとしたものでは、その部分が開いてしまっているものと、開いていないものがあった。せん断補強筋などの鉄筋末端部を全て135°フックとするか、または溶接閉鎖形のせん断補強筋を用いるなど、この部分の配筋方法については、今後十分に検討する必要があると考えられる。

鉄筋の継手に関しては、圧接箇所が破断している例が多くみられる一方で、圧接箇所は健全であったが、それ以外の箇所で破断している例もみられた。

④ むすび

今回の調査において、一部の鉄筋コンクリート造建築物においてコンクリートの圧縮強度が低いことが確認された。また、コンクリート中の塩化物イオン量と鉄筋腐食、アルカリ骨材反応性、コンクリートの充てん状況、鉄筋末端部の折曲げ角度などについて調査した結果、いろいろと問題となる事例が存在することがわかった。しかしながら、これら材料・施工上の問題点が地震被害に及ぼした影響については不明の点が多く、今後、これらの点を明らかにするための研究を実施していく必要があると考えられる。



写真3.2.1.67 せん断補強筋が腐食して切断された例



写真3.2.1.70 鉄筋末端部における 135° フックの例



写真3.2.1.68 アルカリ骨材反応による柱の材軸方向に沿ったひび割れ



写真3.2.1.71 鉄筋末端部において折り曲げ部が破断している例

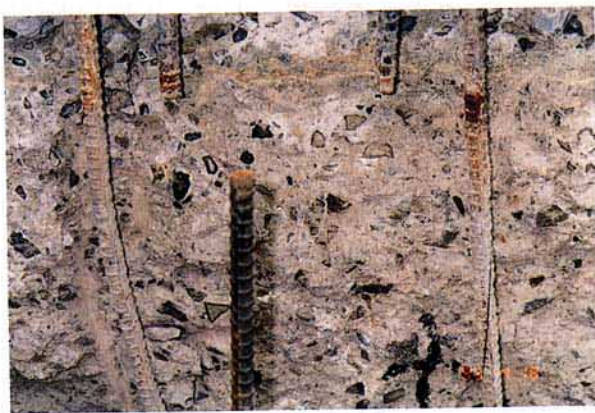


写真3.2.1.69 アルカリ骨材反応による粗骨材周囲の反応リム



写真3.2.1.72 鉄筋末端部における 90° フックの例 (開いている場合)



写真3.2.1.73 鉄筋末端部における90°フックの例（開いていない場合）

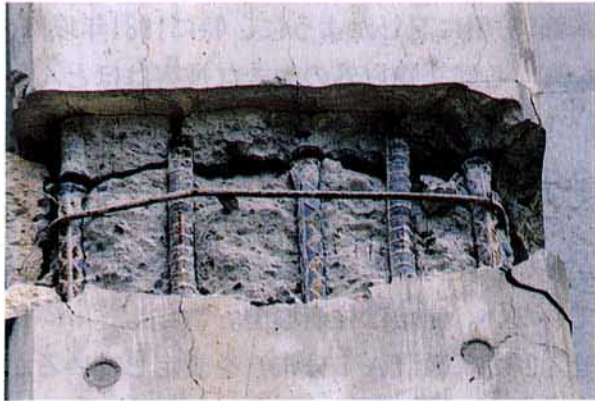


写真3.2.1.74 圧接箇所における継手破断



写真3.2.1.75 破断した圧接と破断していない圧接

(5) まとめ

RC造建築物では、柱や耐力壁のせん断破壊に代表される、過去の震害で見られた被害のほとんどが今回の震害においても見られた。また、この他に今回の地震の特筆すべき被害としては、1階ピロティの建築物のピロティ部分の著しい被害や、中・高層建築物の特定階の層崩壊、SRC造の鉄骨接合部、柱脚アンカーの被害があげられる。これらの被害建築物それぞれが準拠した設計基・規準と被害との関係には強い相関が見られる。すなわち、我が国の鉄筋コンクリート造の設計基準が1971年と1981年に改正されていることから、鉄筋コンクリート造建築物を、i)1971年以前、ii)1981年に至るまで、iii)それ以降、の3つのグループに分けると、これら3つのグループ間の被害率は大きく異なることが本報告書のマクロ分析結果から明らかとなっている。

すなわち、

- ①1971年以前の建築物の被害率は極めて大きい。
- ②1971年以降の建築物の被害は小さい。さらに本節(3)項に記したように、特に1981年以降の建築物ではピロティ建築物等の特定の性格を有する建築物以外の大きな被害はほとんどない。

これに基づく今回の特徴的な被害の要因をまとめると次のようになる。

・中間階の崩壊

- ①旧基準、特に1971年以前の建築物にこの被害が多い。現行基準による建築物では、これまでに得られた情報としては、この被害は生じていない。崩壊は柱崩壊型。
- ②現行基準では、高さが高くなるに従い大きなせん断力係数(A_i分布)を設定しているが旧基準では高さ方向でほぼ一定である。
- ③旧基準で要求している程度の外力に対しては、最小配筋等の構造規定で許容応力を満足しうる。
- ④ただし、最小配筋等の構造規定で期待しうる強度は、中間階で現行の基準の強度の最小要求値(D_s=0.3)を下回る。
- ⑤このため、水平強度が不足した中間階が崩壊した。
- ⑥SRCからRCへの切り換えや、柱断面のしぼりがこの傾向を更に増した。
- ⑦上下動による影響(軸力の変動)もこの崩壊を促進した可能性がある。

・ピロティ建築物の被害

次のような点に配慮したピロティの設計が十分行われていなかったために崩壊・倒壊が生じた可能性が高い。

- ①ピロティ建築物の振動性状
- ②軸力とモーメントの相互作用を十分に勘案したピロティ柱の断面設計
- ③耐力壁および2次壁の剛性評価法
- ④過大な変形にともなうP-Δ効果

・SRCの被害

- ①SRC造とRC造の混用構造建物で、SRC造とRC造との間の構造の切り換え階での保

有水平耐力の急変による、その境界での破壊

②SRC柱における鉄骨柱脚および継手の設計法の不備による、その部分の破壊

③連層耐震壁における壁筋の柱および梁への不十分な定着による被害

④非構造壁の破壊・変形

(6) 今後の対策

①旧規準特に1971年以前の建築物については低層の建築物では低層階の、中・高層の建築物については中間階の耐力不足による崩壊の恐れが強い。特に中間階の崩壊はパンケーキ状の崩壊につながり、多くの人命の損傷を伴う。この観点から早急な耐震補強が望まれる。

②ピロティー建築物の崩壊は本構造形式が本質的に有する特性によると考えられ、古い建築物だけでなく、現行基準によった建築物でも被害が生じた。なお、現行基準によった建築物で大破以上の被害を受けた建築物のほとんどがこの種の構造である。

このため、次のような点に配慮した適切なピロティー建築物の耐力設計法を検討する必要がある。

- ・振動性状
- ・軸力とモーメントの相互作用
- ・水平変形にともなう転倒モーメントの増大（P- Δ 効果）
- ・上階の耐力壁および二次壁の剛性

③今回の被害に鑑み、その他、以下の対策が必要であろう。

- ・SRC造の鉄骨の柱脚アンカーや継手部の引張破壊およびそれにとまなう柱や耐力壁の破壊に対しては、適切な引張力を見込んだSRC造柱脚アンカー、継手部の設計法の検討が必要である。
- ・プレキャスト屋根の、不適切な取り付けによると考えられる落下被害については、水平フレームやダイヤフラムの設置、柱の剛性強化、かかりしろの確保など、落下防止の方法の徹底が必要である。
- ・大破した建築物で帯筋の端部が90度フックのものが多く見られたが、これに対しては135度フックの規定や溶接閉鎖型のせん断補強筋の使用の徹底が必要である。
- ・一部の鉄筋コンクリート造建築物において、コンクリートの圧縮強度が低いこと、コンクリート中の塩化物イオン量が高いこと、アルカリ骨材反応の発生等が見られた。これらと地震被害との関係は今後調査しなければならないが、コンクリートの適切な品質確保の徹底を図る必要がある。

3. 2. 2 鉄骨造建築物

(1) 概要

鉄骨造建築物についての被害調査は、以下の通りである。

- a) 建築震災調査委員会緊急調査：2月中旬～3月上旬実施
- b) 被害調査：主として1月25日～29日実施
- c) 特定地域での全数調査：2月20日～23日実施
- d) 特定の被害建築物の詳細調査：主として2月24日～25日実施

建築震災調査委員会緊急調査は、2章で述べたように、地震直後に使用禁止とされた建築物及び使用禁止に相当する建築物を再調査したものであり、計1231棟に対して行われた。その中から、鉄骨造建築物316棟について、被害の程度や形態と建設年代や構造規模・形式との相関を統計的に調べることを目的として被害を分析した。被害レベルの内訳は、倒壊及び大破55%、中破16%、小破以下27%、不明2%である。現行基準法耐震規定以前（1981年以前）と以後（1981年以後）（以下、単に以前、以後と呼ぶ）とに建設年代が判別できたものの内、大破以上の被害を受けた建築物（以前70棟、以後25棟）を対象とし、損傷部位別に被害の割合を比較すると、接合部の高力ボルト破断の割合は、以後（1/25=4%）は以前（6/70=9%）の半分程度に減っているのに対して、溶接部破断の割合は、以後（10/25=40%）が以前（16/70=23%）を上回っている。柱脚部損傷の割合は、以前（27/70=39%）と以後（9/25=36%）で同程度である。また、現行基準法耐震規定に従って設計され大破以上の被害を受けた鉄骨造建築物25棟の主な被害形態は、1階柱頭溶接部の破断と柱脚アンカーボルトの伸び及び破断である。

被害調査は、建築研究所が主体となって主に神戸市中央区、東灘区、芦屋市で行った。その結果から、角形鋼管を柱に用いた建築物、軽量形鋼などを用いた経年劣化の大きい建築物、軸組筋かい構造の建築物、高層建築物などの被害に大別し、それぞれの典型的な被害例を示した。角形鋼管柱を用いた建築物の被害では、柱脚およびその周辺の損傷と柱梁接合仕口部の溶接部の破断が多く見られた。

特定地域での全数調査は、建築研究所、（社）鋼材倶楽部及びラスシート工業会により神戸市東灘区の一部、中央区の一部（日本建築学会との合同調査として実施）、兵庫区の一部において、3階建て以上の鉄骨造建築物全数（ただし軽量鉄骨造を除く）に対する被害レベルの割合や地区別の被害レベルの割合などを調べることを目的として実施した。調査対象は計655棟であり、その約85%は5階建て以下である。全地域での被害レベルの大破（倒壊含む）、中破、小破以下の比率は、約1：1：4であり、地区別の被害レベルの大破（倒壊含む）率は、東灘区26%、中央区20%、兵庫区12%である。

特定建築物の詳細調査は、主として現行基準法耐震規定に従って設計された建築物に対して、建築研究所において設計図書を入手した上で、被害原因を詳細に検討することを目的に実施した。調査対象は主に神戸市の9棟で、そのうち公共建築物が6棟である。現在、まだ詳細な分析を実施中であるので、ここでは調査した建築物と被害の概要のみを記すこととする。

(2) 緊急調査対象鉄骨造建築物のマクロ分析

緊急調査対象鉄骨造建築物のマクロ分析の結果を表3.2.2.1～表3.2.2.7に示す。ここで分析した緊急調査対象鉄骨造建築物は、鉄筋コンクリート造との混合構造、複合構造等の建築物は含まないものであり、その数は316件である。そのなかでラーメン構造は219件で、その割合は全体の2/3以上である(表3.2.2.1)。また、約60%が4～6階の建築物である(表3.2.2.2)。緊急調査対象鉄骨造建築物の被災度ランクの定義を以下に示す。(表2.2.1.2より抜粋)

- a) 倒壊又は崩壊： 建築物の全体又は一部が倒壊又は崩壊した場合
- b) 大破：
 - ① 層に1/30以上の傾斜
 - ② 主要な構造部材に大きな局部座屈や全体座屈などの著しい損傷(筋かいの50%以上が破断した場合を含む)
 - ③ 塔屋等屋外突出物の倒壊又は崩壊
- c) 中破： 大破以上及び小破以下に該当しない場合
 - ① 主要な構造部材に局部座屈などの損傷(筋かいの20%以上50%未満が破断した場合を含む)が生じている
 - ② 外壁ALC板の1/3以上が落下し若しくは落下しそうになっている
- d) 小破以下：
 - ① 筋かいを除く部材、接合部及び基礎が変形しておらず、かつ、筋かいの破断率が20%未満の場合
 - ② 外壁ラスモルタルの全面又は一部が落下しても主要な構造部材に損傷がない場合

注) 大破、中破又は小破以下については、上記①、②、③のいずれか1つに該当する場合

マクロ分析の結果から以下のことがわかった。

- a) 緊急調査対象鉄骨造建築物の母数316のうち、大破以上の被害建築物は174であり、半分以上であった。そのうち昭和57年以降(現行基準法耐震規定施行以降)の建築物であることが確認できたのは、25件であった(表3.2.2.3)。
- b) 昭和57年以降の建築物では、ラーメン構造の被害が筋かい構造の被害の9倍以上であるが、昭和56年以前は、ラーメン構造の被害は筋かい構造の被害の2倍強である(表3.2.2.4)。
- c) 中間階での崩壊は全体の2.2%であった(表3.2.2.5)。
- d) 全母数のうち、溶接破断が確認できたものは50件あり、一方、溶接破断しなかった建築物は88件であった。大破以上で溶接破断が確認できたものは43件、溶接破断しなかったものは32件であった(表3.2.2.6)。
- e) 柱脚アンカーボルトおよび基礎コンクリートに被害があった建築物は71件確認された。そのなかでは、アンカーボルトの引抜き、破断の被害が多い(表3.2.2.7)。

表3.2.2.8には、昭和57年以降の建築物で大破以上と判定された建築物の被害概要等を記した。構造形式は、ほとんど角形鋼管柱とH形梁のラーメン構造である。これらの建築物の主な被害形態は、1階柱頭の溶接破断及び柱脚アンカーボルトの伸びおよび破断である。

表3.2.2.1 建築年別の構造形式（鉄骨造）

S造 建築年	構造形式			計
	ラーメン構造	筋かい構造	構造不明	
昭和46年以前	64	29	4	97
昭和47～56年	27	12	8	47
昭和57年以降	39	4	3	46
年代不明	89	23	14	126
計	219	68	29	316

表3.2.2.2 建物階数別の被災度ランク（鉄骨造）

S造 建物階数	被災度ランク					計
	倒壊又は崩壊	大破	中破	小破以下	不明	
3階以下	9	34	23	30	2	98
4～6階	30	88	22	52	3	195
7階以上	4	9	4	4	0	21
階数不明	0	0	0	0	2	2
計	43	131	49	86	7	316

表3.2.2.3 建築年別の被災度ランク（鉄骨造）

S造 建築年	被災度ランク					計
	倒壊又は崩壊	大破	中破	小破以下	不明	
昭和46年以前	10	41	17	29	0	97
昭和47～56年	3	16	9	19	0	47
昭和57年以降	10	15	8	12	1	46
年代不明	20	59	15	26	6	126
計	43	131	49	86	7	316

表3.2.2.4 構造形式別の被災度ランク（鉄骨造）

S造		被災度ランク					計
構造形式		倒壊又は崩壊	大破	中破	小破以下	不明	
ラーメン構造	昭和46年以前	7	28	10	19	0	64
	昭和47～56年	1	9	3	14	0	27
	昭和57年以降	9	13	6	11	0	39
	年代不明	15	45	8	17	4	89
筋かい構造	昭和46年以前	3	13	4	9	0	29
	昭和47～56年	1	4	3	4	0	12
	昭和57年以降	1	1	1	1	0	4
	年代不明	3	8	5	6	1	23
構造不明	昭和46年以前	0	0	3	1	0	4
	昭和47～56年	1	3	3	1	0	8
	昭和57年以降	0	1	1	0	1	3
	年代不明	2	6	2	3	1	14
計		43	131	49	86	7	316

表3.2.2.5 構造体の被害状況（鉄骨造）

S造	構造体の被害状況						
	1階崩壊	中間階崩壊	一部の柱が座屈	複合被害	その他	不明	計
	38	7	38	12	166	55	316

表3.2.2.6 被災度ランク別の接合部の被害状況（鉄骨造）

S造		接合部の被害				
被災度ランク		溶接破断	高力ボルト破断	破断無し	不明	計
倒壊 又崩壊	昭和56年以前	5	0	1	7	13
	昭和57年以降	7	1	1	1	10
	年代不明	9	0	2	9	20
大破	昭和56年以前	11	6	11	29	57
	昭和57年以降	3	0	4	8	15
	年代不明	8	1	13	37	59
中破	昭和56年以前	2	0	9	15	26
	昭和57年以降	1	0	1	6	8
	年代不明	3	1	4	7	15
小破 以下	昭和56年以前	1	1	26	20	48
	昭和57年以降	0	0	4	8	12
	年代不明	0	0	12	14	26
不明		0	0	0	7	7
計		50	10	88	168	316

表3.2.2.7 被災度ランク別の柱脚の被害状況（鉄骨造）

S造		柱脚の被害					
被災度ランク		基礎コンクリート破壊	アンカーボルト破断または引き抜き	基礎とアンカーボルトの両方	被害なし	不明	計
倒壊 又崩壊	昭和56年以前	1	5	0	1	6	13
	昭和57年以降	0	4	0	1	5	10
	年代不明	1	6	1	1	11	20
大破	昭和56年以前	8	13	0	16	20	57
	昭和57年以降	1	3	1	2	8	15
	年代不明	7	8	1	11	32	59
中破	昭和56年以前	3	1	0	11	11	26
	昭和57年以降	1	0	0	1	6	8
	年代不明	2	1	0	3	9	15
小破 以下	昭和56年以前	0	1	0	27	20	48
	昭和57年以降	0	0	0	5	7	12
	年代不明	1	1	0	15	9	26
不明		0	0	0	0	7	7
計		25	43	3	94	151	316

表3.2.2.8 大破以上と判定された現行耐震規定施行以降の建物の被害概要

No.	被災度	所在地	竣工年	用途	階数	構造形式	被害概要
1	倒壊・崩壊	神戸市兵庫区新開地	1983	ホテル	4	角形鋼管柱、H形梁	1階柱頭溶接部破断
2	倒壊・崩壊	神戸市兵庫区上沢通	1987	住宅	4	角形鋼管柱、H形梁	1階柱頭溶接部破断
3	倒壊・崩壊	神戸市兵庫区下沢通	1991	住宅	4	角形鋼管柱、H形梁	1階柱頭パネル側溶接部破断
4	倒壊・崩壊	神戸市兵庫区下沢通	1982	事務所	4	角形鋼管柱、H形梁	1階柱頭溶接部破断
5	倒壊・崩壊	神戸市中央区加納町	1985	店舗	7	角形鋼管柱、H形梁	1階柱頭パネル側溶接部破断、根巻柱脚で柱が抜け出して移動
6	倒壊・崩壊	神戸市中央区琴ノ緒町	1989	専門学校	8	角形鋼管柱、H形梁	柱脚アンカーボルトの破断、1階柱頭溶接部破断
7	倒壊・崩壊	神戸市須磨区寺田	1988	住宅	5	角形鋼管柱、H形梁	1階柱頭パネル側溶接部（すみ肉溶接）破断
8	倒壊・崩壊	神戸市東灘区本庄	1991	店舗	4	角形鋼管柱、H形梁、プレース	フラットバー破断、残留変形あり
9	倒壊・崩壊	神戸市灘区大石東	1995	住宅	4	角形鋼管柱、H形梁	1階柱頭溶接部破断
10	倒壊・崩壊	神戸市中央区北長狭通	1984	店舗、事務所	10	角形鋼管柱、H形梁	3階柱継手溶接部破断
11	大破	神戸市兵庫区下沢通	1989	住宅	5	角形鋼管柱、H形梁	柱脚部アンカーボルトの伸び、破断
12	大破	神戸市長田区神楽町	1983	工場	4	角形鋼管柱、H形梁、プレース	不同沈下による建物傾斜
13	大破	神戸市長田区細田	1988	事務所	4	日の字H柱、H形梁	残留変形あり、外壁は荷物の搬出のために取り外したようである
14	大破	神戸市長田区日吉	1985	店舗	2	角形鋼管柱、H形梁	残留変形あり（撤去されているため詳細不明）
15	大破	神戸市長田区若松町	1990	店舗	4	角形鋼管柱、H形梁	残留変形1/30以上（衝突による可能性あり）
16	大破	神戸市長田区西代通	1987	事務所	4	？	残留変形あり（撤去されているため詳細不明）
17	大破	神戸市須磨区大田	1990	住宅	4	角形鋼管柱、H形梁	1階柱頭パネル側溶接部破断（1階ピロティ）
18	大破	神戸市東灘区御影石		住宅	3	角形鋼管柱、H形梁	1階柱頭溶接部破断
19	大破	神戸市東灘区住吉宮	1988	事務所	5	角形鋼管柱、H形梁	アンカーボルト破断
20	大破	神戸市灘区大石南	1990	事務所	4	角形鋼管柱、H形梁	1階倒壊（撤去されているため詳細不明）
21	大破	神戸市中央区割塚通	1985	住宅	5	角形鋼管柱、H形梁	残留変形あり（構造体の被害は確認できない）
22	大破	神戸市中央区北長狭通		店舗	8	角形鋼管柱、H形梁	残留変形あり（構造体の被害は確認できない）
23	大破	神戸市中央区北長狭通	1985	店舗	6	角形鋼管柱、H形梁	柱脚アンカーボルトの破断及び伸び
24	大破	神戸市中央区中山手通	1985	事務所	5	角形鋼管柱、H形梁	柱脚アンカーボルトの破断

（衝突による被害）

25	大破	神戸市東灘区御影中		事務所	4	角形鋼管柱、H形梁	残留変形あり（衝突による被害であることを確認）
----	----	-----------	--	-----	---	-----------	-------------------------

(3) 被害調査

a) 鉄骨造建築物の被害の類型

① 角形鋼管を柱に用いた構造の被害

角形鋼管を柱にH形鋼を梁に用いた構造の建築物の被害は、柱脚およびその周辺、柱梁接合部仕口あるいはこれらの複合した被害に大別できる。

7) 柱脚およびその周辺の被害

柱脚およびその周辺の被害としては、主として柱脚のコンクリート部分の破壊、アンカーボルトの破壊（引き抜き、破断）、あるいは柱（筋かい）の破断である。被害の程度は、1層の大破、建築物全体の傾斜、柱脚部のみの破壊と様々である。これらの被害は、建築物高さに比べて幅の小さいペンシルビルに多く見られた。

・ A建築物（神戸市中央区加納町）

ラーメン構造の地上7階建てペンシルビルで、張間方向1スパン、桁行方向3スパンの建築物である。1階柱脚部アンカーボルトの引き抜き（10cm程の引き抜けあるいは破断したものもあり）、周辺コンクリートの破壊、石貼り壁の剥落、ALC帳壁の一部破損が観察されたが、2階以上の部分には外装仕上げ材に僅かなひび割れが見られたのみである。

（写真 3.2.2.1）

・ B建築物（神戸市中央区加納町）

地上4階建て両方向ラーメン構造の事務所建築物で、1階を駐車スペースに用いている。基礎のコンクリート部分がGLから1m立ち上がり、その部分にせん断亀裂が、また基礎梁と外装材であるALC帳壁縦壁との間に割れが生じている。柱が僅かに東側に移動している（写真 3.2.2.2）。

・ C建築物（神戸市中央区加納町）

地上7階建ての両方向ラーメン構造で、張間方向1スパン、桁行方向2スパンのペンシルビルタイプの店舗である。1階隅柱がベースプレート部分で基礎から外れ前面道路側に飛び出しているが、曲げ等の変形は観察されなかった。この柱のアンカーボルトの本数は4本である（写真 3.2.2.3）。1階の中柱は根巻き柱脚のコンクリートが破壊し、全体として大きな層間変形を受けている（写真 3.2.2.4）。2階以上の部分の変形は僅かであり、1階部分に変形は集中している。

・ D建築物（神戸市中央区下山手通）

地上4階建ての両方向ラーメン構造で、張間方向1スパン、桁行方向1スパン（部分的に2スパン）のペンシルビルタイプの店舗である。1階隅柱がベースプレート部分で基礎から外れ、道路側（北側）に倒壊している。この隅柱のアンカーボルトは4本あるが、いずれも破断している（写真 3.2.2.5）。なお、同柱の柱頭部の仕口部溶接部が破断している。

・ E建築物（神戸市中央区御幸通）

ラーメン構造にX形筋かいが付加された構造の駐車場建築物で、地上8階建てである。地上部分の構造に被害は見られないが、筋かいを受ける1階柱が曲げ座屈し基礎コンクリートに覆われた部分に、局部座屈の発生後の引張破断が1箇所見られた（写真 3.2.2.6）。

イ) 柱梁接合部仕口の溶接部の破断

柱梁接合部の柱仕口部分（ダイヤフラムの柱側、パネル側あるいは両側の場合がある）あるいは梁仕口部分の溶接箇所が破断したものである。破断後、柱は大きな層間変形を受けている。その破断部分について、すみ肉溶接の溶接部破断と思われる破断面を呈している場合もあれば、完全溶け込み溶接の溶接部分あるいは近傍で脆性的に破断したと思われる場合もあった。

- ・ F 建築物（神戸市中央区中山手通）

地上7階建ての両方向ラーメン構造で、ペンシルビルタイプの店舗である。1階から3階まで、特に1階に水平変形が集中している。1階中柱の柱頭部の柱梁接合部において、梁仕口、柱仕口部の溶接に亀裂が生じている。又、隅柱では1階と2階柱頭の柱梁接合部で梁仕口溶接部が破断している。なお写真に示されているが、梁の下フランジは、柱梁接合部パネル内に溶接されていた（写真 3.2.2.7）。

- ・ C 建築物（神戸市中央区加納町）

a. ①.7) 項に既に記述した建築物である。1階の中柱中頭部分に接続する柱梁接合部のパネルに全断面に渡る水平方向の亀裂が見られた。ダイヤフラム近傍の溶接部分の亀裂で、破断面は脆性的であった（写真 3.2.2.8）。

- ・ G 建築物（神戸市中央区下山手通）

地上7階建ての両方向ラーメン構造で、1階柱頭部仕口部の柱とダイヤフラムの溶接部が破断し、柱頭部分で柱がずれている（写真 3.2.2.9）。

- ・ H 建築物（神戸市灘区岩屋中町）

地上4階建て、角形鋼管柱とH形鋼梁より成るラーメン構造である。柱梁仕口部の柱とダイヤフラムの溶接部及び梁仕口溶接部が破断し、2階以上の部分が転倒した（写真 3.2.2.10）。

② 薄肉断面の形鋼を用い錆による経年劣化の大きい建築物の被害

薄肉断面の形鋼を用いた5層程度以下の集合住宅、店舗併用住宅では、建築後かなりの年数を経ており、多くの発錆が観察された。柱と梁は薄肉の箱形断面やH形断面材、ラチス組立材、格子組立材等で構成されている。断面はいずれもせい、幅、厚さの小さい軽微なものである。被害の程度は、1層崩壊、1層と2層の傾斜、全体傾斜である。

- ・ I 建築物（芦屋市茶屋之町）

薄肉断面の形鋼よりなるラチス形式の柱、梁を用いた地上3階建ての共同住宅である。1層が層崩壊してつぶれ、2層と3層が大きく傾いて残った。崩壊した鉄骨部材には著しい発錆が観察された（写真 3.2.2.11）。

- ・ J 建築物（神戸市東灘区）

薄肉断面のH形鋼柱、ラチス形式の梁を用いた筋かい付きラーメン構造の住宅である。外装材はほとんど脱落し、1層が大きく変形している。鉄骨部材には著しい錆が観察された（写真 3.2.2.12）。

③ 軸組筋かい構造の建築物の被害

被害は、筋かいの破断、接合部ボルトの破断等である。

・ K建築物（芦屋市青木）

地上3階、1階部分が車庫、上階部分が事務所の建築物で、張間方向はH形鋼の強軸ラーメン構造、桁行方向はアングルを用いたX形筋かい構造である。1階の筋かいの座屈、ガセットプレートの柱ウエブからの引きちぎれ、引張側柱脚のアンカーボルトの引き抜け、ベースプレートと基礎コンクリートとの離間が生じ、北側に1/8程傾斜した（写真 3.2.2.13）。筋かいを受けるガセットプレートが柱のウエブ部分から引き千切られ、柱ウエブに穴があいているが、筋かいからの軸力を柱ウエブの面外抵抗力でのみ受けたため、その部分の強度が不足したものと考えられる（写真 3.2.2.14）。柱ウエブの裏側にバックアッププレートが必要な詳細である。

④ 上階部分の大きな変形

現行基準法耐震規定以前の建築物で、建築物の上部の階あるいはペントハウスに大きな水平変形が生じた。外装仕上げ材はラスモルタルで剥落の程度は大である。

・ L建築物（中央区北長狭通）

柱、梁にH形断面材を用いた張間方向1スパン、桁行方向2スパン、7階建てのビルである。桁行方向は平鋼を用いた筋かい形式の構造であり、梁ウエブは柱にボルト接合され、フランジは柱に溶接されていない。張間方向はラーメン形式である。筋かいが破断して桁行方向に建築物全体（特に上階）が大きく傾斜し、梁端部のボルト接合部にすべりが生じている。また、4階の柱継手部で添え板が変形しているのが観察された（写真 3.2.2.15）。

⑤ 超高層建築物の被害

・ M建築物（芦屋市）

箱形断面材の柱とH形鋼の梁及びH形鋼ならびに円形鋼管の筋かいからなるメガストラクチャー構造の高層建築物である。これら主要構造部分は露出している。柱の中間部分で水平に破断され、その亀裂が筋かい部分にまで進展しているところもある。

（写真3.2.2.16）。

・ N建築物（神戸市中央区加納町）

地上30階建ての建築物で、外装材、建築物足元回りに被害はないが、内装材には軽微なひび割れが観察された。

⑥ 隣接建築物との衝突による被害

・ O建築物（神戸市中央区布引町）

地上8階建て、間口1スパン、箱形断面材を柱にH形鋼を梁に用いたラーメン構造のペンシルビルタイプの事務所建築物である。南側に隣接する2階建て建築物のパラペット端部と、本建築物の3階柱が衝突し、柱回りの仕上げ材が剥落している（写真 3.2.2.17）。その他の構造の被害としては、柱脚部コンクリートにひび割れが生じている。

b) 被害調査のまとめ

① 角形鋼管を柱に用いた構造の建築物の被害

ア) 柱脚およびその周辺の被害

角形鋼管を柱とするラーメン構造は、市街地の狭隘な敷地の多層建築物の構造に多く見られる。多くは、スパン数が少ない所謂ペンシルビルのため、地震時の大きな転倒モーメントによる大きな引張力が柱に作用し、柱脚およびその周辺に被害が集中した。1層大破、転倒などの大きな被害を受けた建築物から柱脚部とその周辺のみ被害の生じた建築物と様々である。

イ) 柱梁接合部仕口の溶接部の破断

箱形断面の柱とH形鋼の梁との接合部の溶接部分に亀裂が発生した例が多数見られた。溶接部の強度不足の原因としては、溶接サイズ不足、完全溶込み溶接の施工不良、完全溶込み溶接であるべきところをすみ肉溶接としたことなどが挙げられる。その他、脆性的な破断面を呈した被害例も散見されたが、これは原因の究明が必要な事項である。

② 薄肉断面の形鋼を用い錆による経年劣化の大きい建築物の被害

建築物規模に比較して断面の小さい材を用いた建築物で、耐力、剛性の双方が不足していたことに加え、錆による経年劣化が被害を大きくしたものと考えられる。

③ 軸組筋かい構造建築物の被害

引張筋かい形式の筋かいに、圧縮力と引張力が交互に作用し座屈あるいは引張降伏が生じた被害で、既に過去の地震で被害原因の1つとして指摘されていたことである。

④ 上階部分の大きな変形

旧基準では、上階部分の設計用地震力が現行基準に比べ低い。よって旧基準により設計された建築物では、上階部分の強度（剛性）が下階部分に比べ相対的に低く、大きな変形を生じたものと考えられる。

⑤ 超高層建築物

M建築物の角形断面柱の脆性破断の原因については、材料、設計及び施工の面から更に調査が必要である。

⑥ 隣接建築物との衝突による被害

敷地いっぱい建てられた建築物相互の衝突による被害があった。今後、層間変位角に対する構造規定と敷地との関連付けを検討する必要がある。

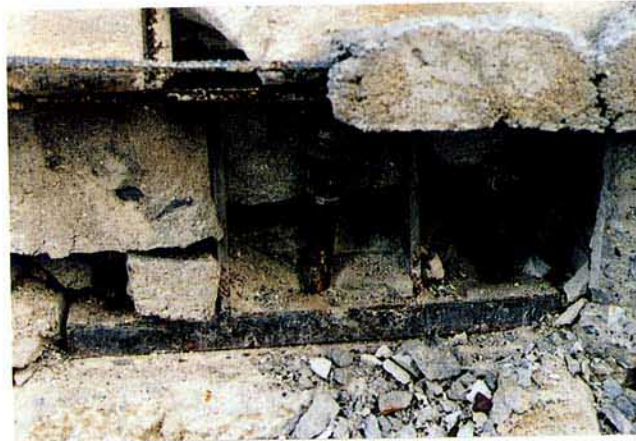


写真 3.2.2.1 A建物

柱脚部アンカーボルト引き抜けと周辺コンクリートの破壊、仕上げ材の一部破損は見られたが、2階以上損傷ほとんどなし。

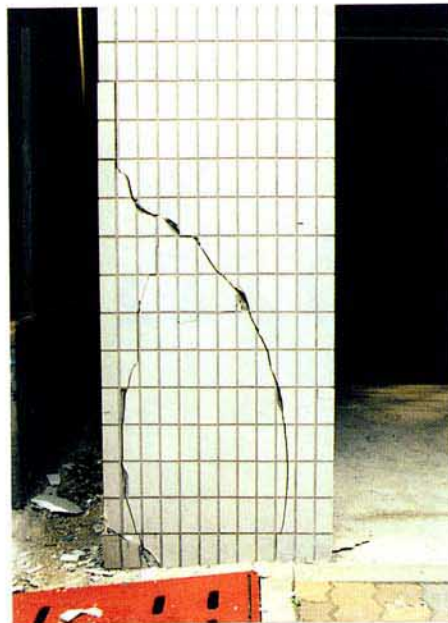


写真 3.2.2.2 B建物

基礎の立ち上がり部分のコンクリートに亀裂。



写真 3.2.2.3 C建物

隅柱が柱脚アンカー部から抜け前面道路に踏み出している。周辺コンクリート部分は大破。



写真 3.2.2.4 C 建物
 中柱は大きな層間変形を受け傾斜している。基礎の根巻き部分は大破。



写真 3.2.2.5 D 建物
 1階柱脚の大破、4本のアンカーボルトが破断し建物倒壊にいたっている。



写真 3.2.2.6 E 建物
 上階の筋かいを受ける柱に局部座屈発生後、引張力の作用による破断が生じている。周辺コンクリートが落下。



写真 3.2.2.7 F 建物

下部3層、特に1層部分に層間変形が集中した。隅柱2階床位置の柱梁接合部を示す。梁仕口部の溶接部分が破断、また下フランジの溶接位置がパネル内にある。



写真 3.2.2.8 C 建物

大きく傾斜した1階中柱の柱頭の柱梁接合部を示す。ダイヤフラムの溶接部に脆性的な破断面が見える。

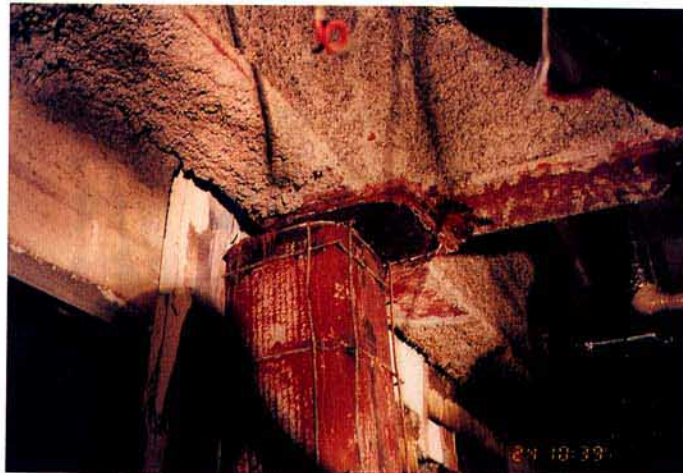


写真3.2.2.9 G 建物

1階柱頭柱-ダイヤフラム溶接部破断により柱がずれる



写真3.2.2.10 H建物
柱梁仕口部の柱-ダイアフラム溶接部、梁仕口溶接部の破断によって2階より上が転倒



写真3.2.2.11 I建物
1層の層崩壊、丸鋼X形筋かい付ラーメン構造で、骨組の鋼材には発錆が見られる。梁は丸鋼と軽量C形鋼、柱は平鋼と軽量C形鋼のラチス



写真3.2.2.12 J建物
骨組の鋼材に著しい錆が見られる



写真3.2.2.13 K建物
1階部分に水平変形が集中し、北側（写真右方向）に1/8程度の傾斜



写真3.2.2.14 K建物
1階筋かいを受けるガセットプレートが柱のウェブから引きちぎられ破断した



写真3.2.2.15 L建物
上階部分に大きな水平変形と外装材の脱落、引張形式の筋かいの破断が見られる



写真3.2.2.16 M建物
箱形断面の鉛直材と筋かいの破断



写真3.2.2.17 O建物
衝突により仕上げ材の脱落

(4) 特定地域での全数調査

1995年2月20日から23日にかけて、以下に示す神戸市の特定地域の原則として3階建て以上の鉄骨造（主要構造材が軽量形鋼の場合は原則として除く）と推定される建築物の全数調査を行った。（図3.2.2.1参照）ただし、調査は主に外観調査によるものであり、建築年等は不明である。

神戸市東灘区の一部	2/20、21	171棟
中央区の一部	2/22	189棟
兵庫区の一部	2/23	295棟
	合計	655棟

東灘区での調査は、建築震災調査委員会緊急調査と並行して行ったものであり、阪急、JR、阪神の3鉄道を含む地区である。中央区の調査区域は、三ノ宮駅北側から海洋気象台を含む地区であり、兵庫区では、市営地下鉄、神戸高速鉄道、JRの3鉄道間の地区である。

なお、この調査は、建築研究所が（社）鋼材倶楽部、ラスシート工業会と共同で行ったものである。被害の総合評価の目安は以下の通りである。

- ・大破：倒壊したもの及び修復不能なほど残留変形が大きいもの。
- ・中破：プレースの破断や座屈、柱・梁等の塑性化は認められるが、残留層間変形が小さく、修復可能と思われるもの。
- ・小破：外装材等の亀裂・剥落等の損傷は認められるが、構造躯体の損傷がみとめられないもの。

調査結果を集計した各地区の階数別の件数、用途別の件数及び被害レベル別の件数を表3.2.9、10、11に示す。（表中の（ ）内は、比率 %）

各地区の階数別件数は、地区ごとに若干の差があるが、東灘区の一部と兵庫区の一部は、住宅地の占める割合が多いのに対し、中央区の一部は、住宅地の占める割合が小さいことに関係があるものと見られる。全体では、およそ半数が3階建て以下、およそ85%が5階建て以下であることがわかる。

各地区の用途別件数（複数回答含む）を見ると、中央区の一部では、店舗、住宅（集合住宅、個人住宅）、事務所の順となっているが、東灘区の一部、兵庫区の一部は、住宅、店舗、事務所の順となっている。これについても住宅地の占める割合に関係があるものと見られる。全体では、店舗、住宅がそれぞれ約35%、事務所が約15%となっている。

被害レベル別件数によれば、無被害、小破、中破、大破の比率は、約2：2：1：1となる。参考文献3.2.2.1)、日本建築学会近畿支部鉄骨造部会の調査（小破以上の被害建物を対象）によると、鉄骨造調査建物の合計は、988件、内訳は、倒壊90件、大破332件、中破266件、小破300件である。これによると、小破、中破、倒壊+大破の比率は、およそ2：2：3であり、本調査によるものよりも、倒壊+大破の比率が大きく、小破の比率が小さい。

地区別にみると、兵庫区の一部、中央区の一部、東灘区の一部の順に大破率が大きくなる。

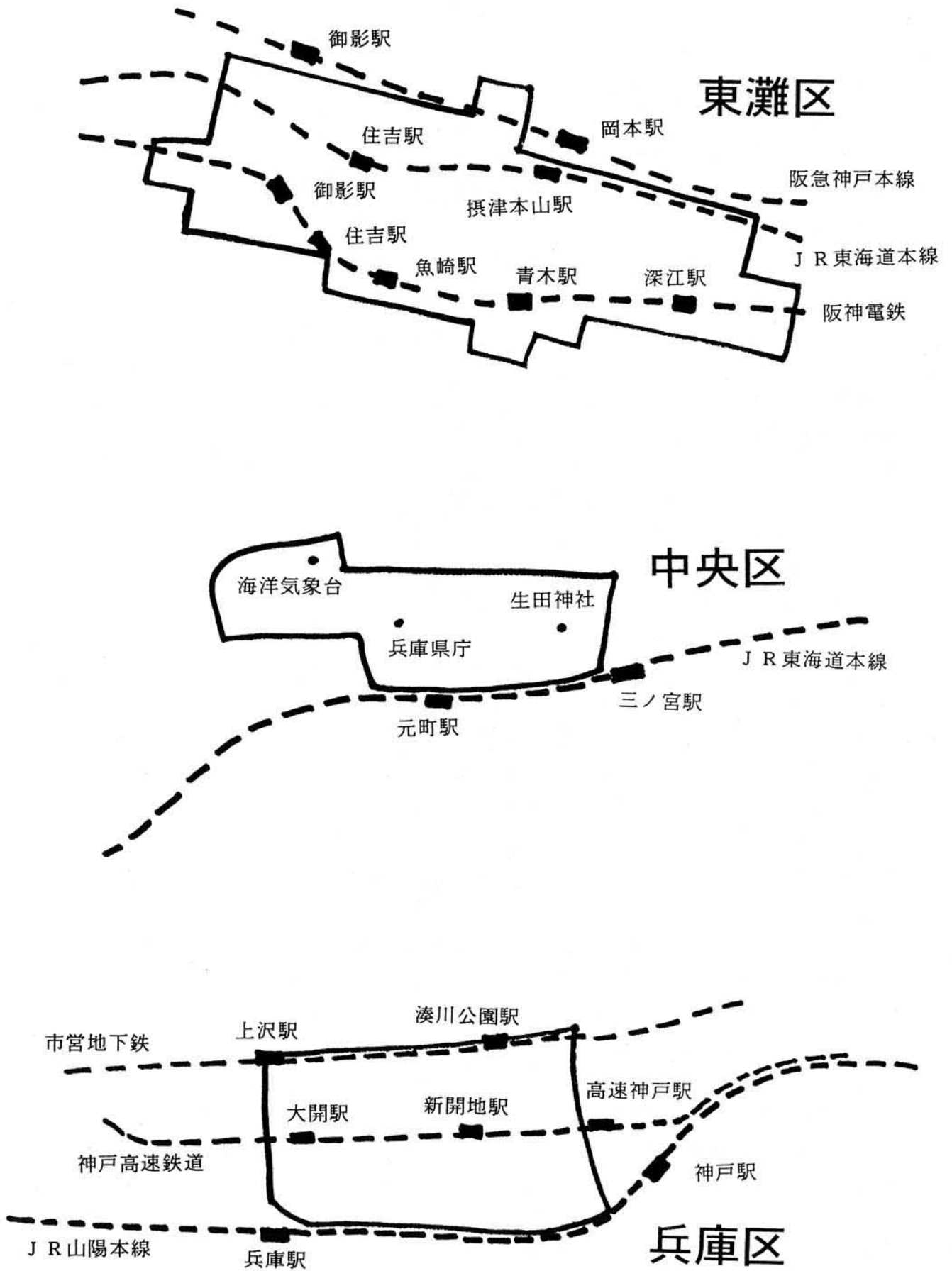


図3.2.2.1 全数調査地区

表3.2.2.9 各地区の階数別の件数

階数	東灘区の一部	中央区の一部	兵庫区の一部	計
3	92 (53.8)	59 (31.2)	152 (51.5)	303 (46.3)
4	49 (28.7)	53 (28.0)	74 (25.1)	176 (26.9)
5	13 (7.6)	29 (15.3)	37 (12.5)	79 (12.1)
6	3 (1.8)	9 (4.8)	9 (3.1)	21 (3.2)
7	1 (0.6)	9 (4.8)	7 (2.4)	17 (2.6)
8	0 (0.0)	10 (5.3)	3 (1.0)	13 (2.0)
9	1 (0.6)	10 (5.3)	5 (1.7)	16 (2.4)
≥10	0 (0.0)	4 (2.1)	5 (1.7)	9 (1.4)
不明他	12 (7.0)	6 (3.2)	3 (1.0)	21 (3.2)
計	171 (100)	189 (100)	295 (100)	655 (100)

表3.2.2.10 各地区の用途別の件数

用途	東灘区の一部	中央区の一部	兵庫区の一部	計
事務所	35 (15.8)	29 (12.2)	73 (16.7)	137 (15.3)
店舗	54 (24.3)	129 (54.7)	152 (34.7)	335 (37.4)
集合住宅	92 (41.4)	50 (21.2)	178 (40.6)	320 (35.7)
病院	5 (2.3)	3 (1.3)	5 (1.1)	13 (1.5)
校舎	0 (0.0)	1 (0.4)	0 (0.0)	1 (0.1)
工場	10 (4.5)	0 (0.0)	8 (1.8)	18 (2.0)
倉庫	13 (5.9)	0 (0.0)	7 (1.6)	20 (2.2)
庁舎等	0 (0.0)	2 (0.9)	0 (0.0)	2 (0.2)
不明他	13 (5.9)	22 (9.3)	15 (3.4)	50 (5.6)
計	222 (100)	236 (100)	438 (100)	896 (100)

注1)複数回答含む

2)集合住宅には個人住宅を含む

表3.2.2.11 各地区の被害レベル別件数

	東灘区の一部	中央区の一部	兵庫区の一部	計
無被害	60 (35.1)	72 (38.1)	98 (33.2)	230 (35.1)
小破	33 (19.3)	52 (27.5)	128 (43.4)	213 (32.5)
中破	33 (19.3)	28 (14.8)	35 (11.9)	96 (14.7)
大破	45 (26.3)	37 (19.6)	34 (11.5)	116 (17.7)
計	171 (100)	189 (100)	295 (100)	655 (100)

(5) 特定建築物の詳細調査

平成7年2月24日および25日に、建築研究所が鋼材倶楽部およびラスシート工業会の協力を得て、総勢18名で以下にリストアップする9棟の鉄骨造建築物の詳細調査を実施した。建築物のリストアップには、神戸市の協力を得たが、鉄骨造の公共建築物で被害を生じているものはほとんどないために調査建築物のリストアップは困難を極めた。そこで、鋼材倶楽部にも依頼して建築物内部調査が可能な建築物の調整を依頼したが、所有者との調整が難しく極めて限られた詳細調査となった。また、詳細調査と言っても被害状況が小さいものについては、内外装や耐火被覆の為に構造躯体を直接見ることができない建築物も多く、それらについては、構造被害の状況も必ずしも把握しきれていない。

以下各詳細調査建築物の構造および被害の概要をまとめる。

a) Aビル

5階建て、2×4スパン。角形鋼管柱とH形鋼梁よりなるラーメン構造の事務所ビル。竣工は1984年。

外観上は外壁PCカーテンウォールに少し不陸が見られる程度で、残留水平変形も1/100程度以下と比較的小さく、周辺に傾いた建築物が多くあるのでほとんど被災していないように見える。ところが、内部調査によれば、2階および3階床梁のほとんど全ての材端のフランジ部分に、十分な降伏の後の局部座屈、そして最終的にフランジ破断が生じていた。写真3.2.2.18に損傷した梁材を示す。材料強度を規格最小値と仮定した簡単な計算によれば、この建築物の保有水平耐力は、ベースシャー係数で0.5程度であった。この建築物については、詳細調査の後、梁部分より材料試験片を採取することができ、素材引張試験の実施により、より正確な保有水平耐力の評価を予定している。

b) Bビル

4階建ての鉄骨造立体駐車場が建設されている敷地に、駐車場をまたぐようにして駐車場の両側に10層の2基のタワーを建て、これらのタワーをつなぐようにして中央の事務所部分を最上層のメガトラスにより吊り下げた構造形式の区民センター。竣工は1992年。

非構造部分の被害としては、中央のメガトラスにより吊られている部分が既存駐車場の屋上および両側のタワーと衝突したために内外装材などの損傷が見られた。写真3.2.2.19に損傷した建築物内部を示す。構造部分の被害については、耐火被覆で覆われているために観察することはできなかったが、耐火被覆にひびわれや剥落は見られておらず無被害と思われる。

c) Cビル

10階建ての立体駐車場（一部店舗および事務所）。柱材は角形鋼管、梁材はH形鋼よりなり、x・y両方向ともH形鋼よりなる筋かいが、K形あるいはX形に配置されている。竣工は1993年。

主な被害は、K形筋かいの交差部シアリンク*1に相当するガセットプレートのせん断降伏およびせん断座屈（一部に亀裂）であり、X形筋かいにはH形鋼が構面内に強軸に配置されて

おり、これが構面外へとびだす方向に一部座屈していた。写真3.2.2.20には、筋かい交差部のガセットプレートのせん断降伏の状況を示す。また、筋かいの高力ボルト継手にすべりも観察された。全般的な被害としては、中破程度とみなされる。

*1：偏心K形筋かいの一对の筋かいが取り付く梁部分をシアーリンクと呼ぶ。

d) Dビル

食料品の保管を目的とした1層の倉庫。辺長100cm程度の溶接組立断面柱とH形鋼梁よりなる剛接ラーメン構造。竣工は平成であるが、年は不明。

構造部材は耐火被覆に覆われており損傷の程度は不明であるが、耐火被覆にひびわれや剥落は見られず、また内外装にも損傷は見られない。無被害。写真3.2.2.21に建築物内部の様子を示す。

e) Eビル

地下1階、地上4階の鉄筋コンクリート造の上のアーチの小屋部分のみが鉄骨造である消防署。小屋部分は、鉄筋コンクリート造の上にベースプレートを介してアンカーボルトにより固定されている。竣工は1990年。最も被害の著しい地域に位置していたにもかかわらず、階段、外壁タイルの一部に軽微な損傷が見られる程度であり、小屋の鉄骨についても損傷はなかった。ただし、4階に設置された空調機のアンカーの破損によって20cmほど水平移動したのみであった。

f) Fビル

地下1階、地上5階、塔屋2階のクリーンセンター。地上5階までは鉄筋コンクリート造あるいは鉄骨鉄筋コンクリート造のラーメン構造であり、塔屋部分が鉄筋コンクリート造あるいは鉄骨鉄筋コンクリート造のラーメンと鉄骨造筋かいとを併用した構造となっている。竣工は1990年4月。

主要構造部には被害は見られず、本棟と管理棟との間の衝突による一部天井の落下およびエキスパンション部分のみの損傷など軽微な被害であった。

g) Gビル

大ホール1室、中ホール1室およびこれらのエントランス部分、付属施設よりなる文化ホール。各ホールは鉄骨鉄筋コンクリート造の柱で鉄骨造のトラスを支える構造となっている。竣工年は不明。

主要構造であるH形鋼より構成されるトラスおよび鉄骨鉄筋コンクリート造の柱にはコンクリートの亀裂も含めて損傷は見られなかった。しかし、雑壁や天井等の非構造部材には若干の被害があった。

h) Hビル

地上7階、塔屋1階の児童センター。全体の平面形状はL形であり、両方向ともラーメン構

造。柱は角形鋼管であり、H形鋼梁は、内ダイアフラム形式の角形鋼管にフランジを溶接、ウェブを高力ボルト接合されている。柱脚には、露出形式と埋め込み形式が混用されている。竣工は1987年。

構造部分の被害としては、露出柱脚のコンクリートの破壊（写真3.2.2.22）が見られる程度であり、建築物全体の傾斜は測定したがほとんどなかった。しかし、中間階で間仕切り壁の損傷や鋼製ドアの開閉が不能になる被害が見られた。また、避難階段のささら桁に局部座屈や降伏による塗料の剥落が見られた。そのため、耐火被覆で構造部材を直接見ることはできなかったが、なんらかの損傷がある可能性は否定できない。

i) Iビル

地下1階、地上10階の教育センター。全体の平面は、矩形の一部に円形のアトリウムを有する形。柱材には、矩形平面部分では角形鋼管、アトリウム部分では円形鋼管が使用され、梁材はH形鋼。柱梁接合部は通しダイアフラム形式。竣工は1990年。

構造部材は、一般部分では耐火被覆に覆われているために直接観察できなかったが、隅柱の1階柱頭と5階柱頭の柱梁接合部で仕上げ、耐火被覆が除去されており、その損傷状況を観察することができた。隅柱の柱梁接合部の梁端ウェブ部分に降伏による塗料の剥落が見られた。また、避難階段のささら桁の部分溶け込み溶接に破断箇所が見られた。その他の被害としては、外装の金属カーテンウォールの取付け金具の破損による面外へのはらみ出しや間仕切り壁の一部に亀裂が生じた程度であった。

以上、詳細調査を実施した9棟について建築物の概要および被害状況を簡単にまとめた。比較的被害が小さい建築物が多かったが、これは調査対象を公共建築物を中心に現行基準法耐震規定に従って設計されたものを中心にピックアップしたためである。このなかでAビルについては、かなり大きな損傷を受けている。また、被災建築物より材料試験片の採取も行っており、この材料試験結果に基づいて保有水平耐力の再評価などを今後実施する予定である。



写真3.2.2.18 十分な塑性化の後，破断した梁部材下フランジ（Aビル）



写真3.2.2.19 立体駐車場との衝突により損傷した建築物内部（Bビル）

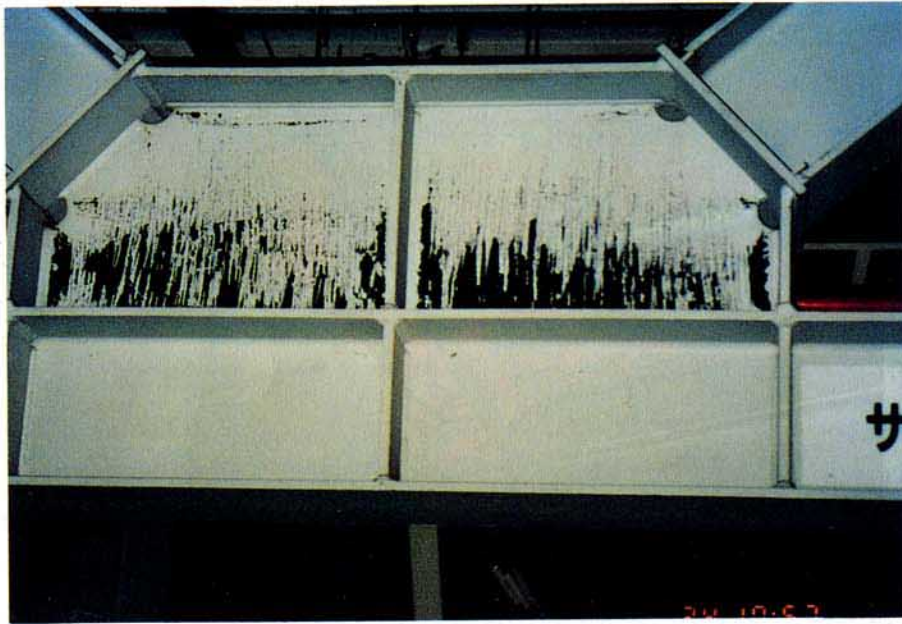


写真3.2.2.20 筋かい交差部のガセットプレートのせん断降伏（Cビル）



写真3.2.2.21 無被害の食料品保管倉庫（Dビル）



写真3.2.2.22 露出柱脚の損傷（Hビル）

(6) 調査結果のまとめ

建築震災調査委員会緊急調査対象建築物1231棟の中で、現行基準法耐震規定に従って設計され大破以上の被害を受けた鉄骨造建築物は25棟である(表3.2.2.8参照)。これらの主な被害形態は、1階柱頭溶接部の破断と柱脚アンカーボルトの伸び及び破断である。表3.2.2.1~7に示す調査結果より、鉄骨造建築物316棟に対する被害レベルの内訳は、倒壊及び大破55%、中破16%、小破以下27%、不明2%である。現行基準法耐震規定以前(1981年以前)と以後(1981年以後)での大破以上の被害を受けた建築物(以前70棟、以後25棟)を対象とし、損傷部位別に被害の割合を比較すると、接合部の高力ボルト破断の割合は、以後(1/25=4%)は以前(6/70=9%)の半分程度に減っているのに対して、溶接部破断の割合は、以後(10/25=40%)が以前(16/70=23%)を上回っている。柱脚部損傷の割合は、以前(27/70=39%)と以後(9/25=36%)で同程度である。

神戸市東灘区、中央区、兵庫区の一部の特定地域で全数調査した軽量鉄骨造を除く3階建て以上の鉄骨造建築物655棟の約85%は5階建て以下である。全地域での被害レベルの大破(倒壊含む)、中破、小破以下の比率は、約1:1:4であり、地区別の大破(倒壊含む)率は、東灘区26%、中央区20%、兵庫区12%である。

調査結果から鉄骨造建築物の被害の特徴をまとめると以下の通りである。

a) 柱脚部及びその近傍の損傷

柱脚部の形式には、露出形式、根巻き形式、埋込み形式の3種類がある。被害は露出形式の柱脚に多く、柱脚コンクリートの部分破壊、アンカーボルトの破壊(引き抜き、破断)、柱脚近傍での柱材の破断が、高さに比べてその幅が小さいいわゆるペンシルビルタイプの建築物で多く見られた。これらの建築物は、転倒モーメントによる大きな軸力変動に対して柱脚部が強度不足であった可能性がある。

b) 柱梁接合仕口部の損傷

柱梁接合仕口部およびその近傍での溶接部に破断が見られた。これらの被害は、角形鋼管柱を用いた純ラーメン構造に多く、部材の塑性変形をほとんど生じることなく溶接部が破断した。典型的な破断箇所は、角形鋼管柱端部と仕口部ダイヤフラムとの溶接部、仕口部のパネルとダイヤフラムとの溶接部、梁端部スカラップ近傍の下フランジ及びウェブの溶接部である。この被害の要因としては、大きな曲げモーメントに対して溶接部が強度不足であった可能性がある。更に詳しい調査が必要だが、溶接部の強度不足の原因として、溶接サイズの不足、不適切な隅肉溶接の採用などが考えられる。なお、日本建築学会の調査(文献3.2.2.1)によると、H形断面柱を用いた純ラーメン構造では、柱貫通形式が多いため、梁端部での損傷が多い。

ただし、柱梁接合仕口部近傍が破断した中には、最終的には梁端部で破断しているものの、それ以前に局部座屈や降伏を伴い梁が十分に塑性化したことが確認されているものも多い。これらの建築物は、現行基準法耐震規定の要求性能を満足しているものと判断され、上述のように部材の塑性変形をほとんど生じることなく溶接部が破断した被害とは本質的に区別して考えるべきものである。

c) 筋かい端部、柱継手、梁継手の損傷

筋かい端部接合部、柱-柱継手、梁-梁継手の接合部が破断する被害が見られた。これらの

被害でも、柱梁接合仕口部の溶接部破断と同様に、部材の塑性変形をほとんど生じることなく接合部が破断している。この被害の原因としては、溶接方法、継手位置などの詳細設計及び施工が適切でなかった可能性がある。

d) 厚肉大断面部材の脆性的破断

厚肉大断面部材が脆性的に破断した被害が見られた。脆性的破断原因の可能性としては、材料の靱性不足、部材製造時や架構組立時の溶接による残留応力、溶接部や仮付け溶接部の材質変化、接合部など形状変化部位における応力集中、などの影響が挙げられているが、いずれも推定の域を出ず、材質、設計・施工面からの検討とともに溶接の影響や構造物の地震時挙動を詳細に検討するなど更に詳しい調査が必要である。

e) 現行基準法耐震規定以前の軽量形鋼などを用いた建築物の被害

現行基準法耐震規定以前に建てられた軽量形鋼など肉厚の薄い部材を用いた建築物の被害が見られた。錆による有効断面積の減少により被害が助長されたと考えられる。

(7) 今後の対策

これまでに取り上げた5項目の特徴的な損傷の各々に対し、現時点で効果的と考えられる対策を以下に記す。

a) 柱脚部およびその近傍の損傷に対する対策

- ① 柱脚の被害で特筆されるのは、露出柱脚においてアンカーボルトが10cm程度も伸び出している建築物が見られた点である。地震による転倒モーメントのために建築物が部分的に浮き上がったために生じた被害と見られる。このように大きな引張力が柱脚に作用すると、特に、露出柱脚においては、ベースプレート下面での摩擦によるせん断力の伝達が極端に低下し、アンカーボルトの破断や柱脚の移動が生じる。これは、建築物の終局時に柱脚に作用する力を想定して柱脚の設計をこれまで行なっていなかったためであり、柱脚もまた他の接合部位と同様に建築上部構造の有する靱性の発揮を阻害してしまわないように保有耐力接合の条件を満足するように設計する必要がある。このような検討は、露出柱脚に限らず根巻き柱脚や埋め込み柱脚に対しても実施する必要がある。
- ② なお、根巻き柱脚では、ベースプレート下面とコンクリート上面との間のコンクリートの不充填やアンカーボルト部分のゆるみなどを考慮して、根巻き鉄筋コンクリート部分あるいはベースプレート下面部分のみで曲げモーメントおよびせん断力を伝達するものとして安全側に評価する必要がある。

b) 柱梁仕口部の損傷に対する対策

- ① 現行耐震規定の施行以降、角形鋼管柱とH形鋼梁よりなる剛接架構が普及した。この架構の柱梁接合部を通しダイアフラム形式とした接合部近傍で溶接破断が数多く見られている。破断位置は、角形鋼管柱とダイアフラムとの溶接位置近傍およびダイアフラムと溶接されるH形鋼梁フランジ端部のスカラップ近傍などである。特に、角形鋼管柱とダイアフラムとの溶接位置での破断では、この部分の溶接がすみ肉溶接である場合には角形鋼管柱に塑性化の形跡さえ見られずに破断したものが多い。このような損傷に対する対策としては、まず、柱通し形式の柱梁接合部の採用が考えられる。現行耐震規定以前に多く用いられていたH形鋼柱では容易に柱通し形式とすることができるのでこの再評価があげられる。角形鋼管柱を用いる場合でも、外ダイアフラムの採用により柱通し形式とすることは可能である。また、たとえ通しダイアフラム形式とする場合でも柱とダイアフラムの溶接をすみ肉溶接でなく、完全溶込み溶接とすることにより溶接部の性能は格段に向上する。
- ② 一方、H形鋼梁フランジ端部のスカラップ近傍での破断は、梁フランジの十分な降伏の後に最終的に発生した場合は、建築物に倒壊などが生じない限り破断自体は問題とはならない。しかし、この部位の接合の性能をさらに向上させれば、梁部材の構造性能をより大きく引き出すことができるのは言うまでもない。このためには、工場溶接とすることにより裏当て金の近傍における潜在的なノッチの影響を少なくする方法、ノンスカラップ工法の採用などを推奨すべきである。

c) 筋かい端部、柱継手、梁継手の損傷に対する対策

- ① 筋かい接合部、柱継手、梁継手にも多くの被害が見られた。筋かい接合部については、基本的に保有耐力接合の確保が不可欠である。柱および梁継手については、施工の品質の

向上とともに継手位置など詳細設計の要点を周知する必要がある。

d) 厚肉大断面部材の脆性的破断に対する対策

- ① 比較的厚肉の板要素より構成される部材において、明らかな降伏現象を呈する以前に脆性的に引張破断した損傷例がいくつか見られた。この原因については、種々の可能性を専門家が指摘しているが、どれも十分には検証されていないのが現状である。早急な原因究明と設計法の改善なども含めた今後の対応策の確立が望まれる。

e) 現行基準法耐震規定以前の軽量形鋼などを用いた建築物の被害に対する対策

- ① 古い建築物の中には、軽量形鋼や薄肉のH形鋼を用いている建築物があり、剛性・強度に乏しいものが多く見られた。これらの建築物では、錆びによる経年劣化も手伝って大きな被害を生じた。これに対する対策としては、耐震診断・耐震補強の計画的な実施があげられるが、これまでの補強方法では工事中に一時的ではあるが建築物内部を使用することができなくなり、オーナー等が補強に踏み切らない場合が多い。補強を促進するためには、建築物内部を継続使用しながら補強できる技術の開発が望まれる。

〔参考文献〕

- 3.2.2.1) 日本建築学会近畿支部鉄骨構造部会「1995年兵庫県南部地震 鉄骨造建物被害調査報告書」 1995年5月

3. 2. 3 基礎・地盤

(1) はじめに

兵庫県南部地震による被害は、土木構造物、港湾施設、建築物など社会活動に必要なほとんどの対象に及んでいる。地震発生後、多くの関係機関によって被害調査が行われており、現在も継続的な詳細調査が続けられている。これまで実施されてきた多くの調査は、外観からの目視調査を主体としたものである。上部構造物に比較すると建築基礎及び宅地地盤に関しては、外観からでは被害の正確な把握を行なうことが困難である場合が多い。以下の調査結果は、これまでの上部構造の被害結果を参考にした現地調査やヒアリング結果をもとにまとめたものであり、建築基礎については、一部掘り出し調査や復旧事例を参考にしている。

(2) 建築基礎の被害

これまで把握した建築基礎の被害状況を、i)緊急調査による基礎の被害状況（建築震災調査委員会が中心となって実施した被災建築物の調査）、ii)現地調査などによる基礎の被害状況、に大別して示すことにする。なお、以下の建築基礎の被害とは、直接損傷を確認したもののほか、上部構造の被害は比較的少なく建築物が傾くなどして基礎の被害が想定される建築物（戸建住宅は除く）を含んでいる。

a) 地盤概要

被災地域の地盤は、液状化や地震動の地形的増幅効果などが生じやすい「軟弱地盤」と言われているが、柱状図などから判断すると全国的にみて特に軟弱というわけではない。国道2号線より南の海側を除けば、地表面から数mで比較的良好な支持層が得られるので、中層程度の建築物では直接基礎を採用しやすい状況にある。4～5階建は勿論、10階建の程度建築物においても地下階を設けたり、基礎下をラブルコンクリート（基礎底面にコンクリートを打設して支持層に床付けしたもの）あるいは地盤改良などして、浅層地盤を直接基礎の支持層としている場合が少なくない。図3.2.3.1には、表層地盤の概要を示す。また、図3.2.3.2には、新聞報道による断層位置及び震度Ⅶの地域を示す。

b) 緊急調査による基礎の被害

震災直後から自治体及び関係機関の協力のもと、被災建築物の緊急調査（黒紙貼りによる提示及び建築震災調査会による被災度調査）が実施された。これは、その後実施された応急危険度判定（赤、黄、緑紙貼りによる提示）に先立つものであり、被災度が高い4F以上の建築物を主対象としている。調査建築物の総数は、1,000棟弱である。これらの調査建築物の多くは、上部構造の被害度が高いものであるが、基礎の沈下障害（建物の傾斜など）が確認された建築物もある。

図3.2.3.3には、建築震災調査委員会緊急調査において基礎の被害（建物傾斜）が確認された被害建築物の位置を示す。図示した地域における被害建築物の総数は、約70棟であり、調査建築物の総数に対する割合は約7%である。なお、これらの被害建築物の基礎種別や基礎の被害詳細について不明なものも少なくない。被害建築物位置の表層地盤は、埋立地、砂・粘土層、砂層などである。また、被災建築物は、新たに確認された断層周辺及び震度Ⅶの地域を中心に分

布している。

写真3.2.3.1～写真3.2.3.3には、被害状況の一部を示している。写真3.2.3.1は、杭基礎建物（SRC11F）の被害状況及び当該建築物内に掲示されていた杭基礎の被害の想定図である。建物は海岸沿いにあり、液状化による地盤変状が建物周りで発生し、最大70cmの不同沈下が確認されていた。写真3.2.3.2は、杭基礎建物（RC3F）の被害状況である。南側道路の建物は、北側に大きく傾き、前面の土間コンクリートが浮き上がっていた。現地調査した時点では、PC杭（φ300）の杭頭部がせん断破壊している状況が認められ、ジャッキアップによる復旧工事が行われていた。写真3.2.3.3は、直接基礎の建物（S4F、布基礎）の被害状況である。建物は、隣接建物側に最大約20cmが沈下していた。敷地の柱状図から判断すると、基礎底面（GL.約-1m）はN=10前後の砂層に支持されており、液状化による地盤沈下などが考えられる。また、ここでは、薬液注入とジャッキアップの併用による復旧工事が実施されていた。

c) 現地調査などによる基礎の被害

① 杭基礎の被害

杭基礎の被害原因としては、上部構造の慣性力に起因する過大な外力、動的効果、地盤変状（液状化、側方流動、地すべりなど）などが考えられる。今回の地震による杭基礎の被害も、上記のいずれかもしくはそれらが複合して生じたと思われるが、被害箇所等の詳細が不明であり、現時点で被害原因を特定することは難しい。杭基礎の被害箇所としては、杭頭部だけでなく、フーチング、地中梁、接合部、杭体などが考えられるが、被害箇所を把握することが容易でない。また、構造被害がなくても、支持力喪失により不同沈下が発生する場合もある。図3.2.3.4には、これまでに把握した杭基礎及び直接基礎の被害建築物位置（合計110棟程度、緊急調査における被害建築物との重複はない）を示す。被害建築物の位置は、図3.2.3.3の緊急調査による被害建築物位置と同様、図3.2.3.2の断層位置周辺及び海側の埋立地に多いようである。このうち杭基礎建物の総数は、約80棟であるが、図示した地域以外（宝塚市など）でもさらに数十棟の建築基礎の被害が確認されている。

写真3.2.3.4～写真3.2.3.6には、掘り出し調査による杭の被害事例の一部を示す。写真3.2.3.4は、RC5Fの杭基礎建物（RC杭、φ300、建物傾斜約1度）の杭周辺を掘り出した状況である。杭頭部は、フーチングに緊結されておらず、捨てモルタルに挿入された鉄筋が折れ曲がっていた。写真3.2.3.5は、RC11Fの杭基礎建物（場所打ち杭、φ1800）の杭の被害状況である。杭頭部で輪状の亀裂が確認され、鉄筋が溶接部などで破断していた。この他、埋立地において使用されている鋼管杭においても、杭頭部の変形やフーチングの亀裂障害などが発生していた。また、写真3.2.3.6には、岸壁付近の倉庫（S1F、無筋現場造成杭、φ300）の被害状況を示している。液状化による側方流動が発生し、杭のせん断破壊が認められた。

② 直接基礎の被害

直接基礎の建築物で不同沈下が発生した建物の規模は、最大で10階前後である。被害原因としては、液状化などによる地盤沈下や支持力不足が考えられる。

比較的規模の大きい建築物の被害例としては、ラブルコンクリートや表層地盤改良などによりN値で20～30程度の砂層や砂礫層を支持層としているようなケースがあった。不同沈下によ

る傾斜の方向としては、空き地側・前面道路側・水路側に加えて隣接建物側も多かった。直接基礎建物の被害位置は図3.2.3.4に示しており、総数は、約30棟である。

写真3.2.4.7、写真3.2.3.8には、不同沈下した直接基礎の被害状況を示す。写真3.2.3.7は、RC10Fの建物（南側道路）が北側に5～10cm程度傾いた事例であり、エキスパンションジョイント付近の損傷が認められた。基礎底面は、GL. -3m前後で、約50cm厚さのラブルコンクリートを介してN=20～30の砂層に支持させていた。写真3.2.3.8は、RC9Fの建物が最大約30cm傾いた事例であり、柱の沈下が認められた。基礎底面は、GL. -6～-7mであり、N=20前後の砂層に支持させていた。

(3) 宅地地盤の被害

a) 被害の概要

今回の地震による丘陵部および崖地宅地の被害は、六甲山系の山麓に造成された多くの宅地で発生している。明治以来、神戸市をはじめとする六甲山系を中心とした周辺の都市では、多くの宅地造成地が開発されている。この地域は、地震災害を長期間経験していなかったが、昭和36年を初めとする大水害を経験するなど、多くの自然災害を受けてきたところである。このような経緯から、この地域は、宅地造成に関しては厳しく指導が行われていたところである。今回の地震による、造成地の崩壊、擁壁の倒壊や亀裂の発生など、確認されている宅地造成地の被害箇所数は、約5,300箇所にとぼる（神戸市：3,800、大阪市：200、その他：1,300）。これらの被害箇所は、必ずしも個々の宅地単位に整理されたものではなく、関係機関に被害の報告として届けられた件数である。宅地地盤の被害を見ると、被害の発生が広範囲に及び宅地地盤が全体的に崩壊したり、一体となって移動したりすることによって、個々の宅地に崩壊、擁壁の破壊、損壊が生じる場合が認められる。従って、復旧対策や今後の対応を講ずるうえからも、宅地全体に原因する場合と個々の宅地に関するもの及びその中間的な規模のものを区別して取り扱い、整理しなければならない。今回の地震による被害のうち、被害の規模が大きいと判断された箇所を図3.2.3.5に示す。

b) 宅地地盤の被害の概要

これまでの調査から宅地地盤の被害の形態には、以下のタイプが認められる。

i) 自然崖あるいは切土斜面の崩壊、ii) 自然台地上宅地内の亀裂 iii) 盛土造成宅地全体の移動（崩壊） iv) 宅地地盤、擁壁の崩壊や亀裂など

① 自然崖あるいは切土斜面の崩壊

このタイプの地盤被害の大きいものでは、西宮市仁川百合野町において発生した土砂崩れにより多数の犠牲者が生じている。崩壊した地盤は阪神水道局の造成地盤であり、その崩壊した土砂が川沿いに流下し下流に造成されていた住宅を押し潰している。

崩壊した斜面の下流側（南）に大きな亀裂が生じているため防水シートによる応急手当てと伸縮計による地盤の変状観測を実施しながら、復旧対策が講じられている。なお、崩壊した斜面上には基礎杭が露出したRC建築物が残存している（写真3.2.3.9）。

② 自然台地上宅地内の亀裂

このタイプの地盤災害の大きいものでは、東灘区西岡本において発生しているものがある。数十個の住宅を含む地域に斜面に平行な亀裂が複数発生しており、この亀裂によって住宅や擁壁に縦亀裂が生じている。この斜面は、高さが30m程度の急傾斜（勾配約30度）であり、斜面内にはらみだした形跡が認められるものの、現時点では、斜面は安定を保っている。しかし、亀裂の深さや地盤の性状など不明な点も多いが、降雨などの影響が極めて大きいと考えられ、緊急対策が検討されている。なお、急峻な崖地を構成している地盤は、崖錘性の河岸段丘と思われるものが多い。（写真3.2.3.10、写真3.2.3.11）

③ 盛土造成地全体の移動（崩壊）

六甲山の丘陵部に雛段に造成された切り盛り宅地が、全体的に斜面方向に移動したと推定され、そのため、宅地表面に多数の亀裂が認められる。亀裂の多くは、アスファルト舗装面などで確認できる場合が多いが、敷地内における亀裂については、確認し難い場合が多い。この種の被害地では、同時に住宅が倒壊、亀裂、傾斜及び擁壁の倒壊などの被害をうけており、被害の原因が複合していることが考えられる。宅地が移動することによって傾斜地にたつ鉄筋コンクリートの住宅が傾斜して振じれている場合や、20mを越える石積み擁壁の上にたつRC建築物が擁壁の変状によって傾斜したと思われる例もある（写真3.2.3.12、写真3.2.3.13）。

また、写真3.2.3.14は、造成地が大きく変位したことによって、RC擁壁に目違いが生じたものである。また、場所によっては、盛土材の流出が部分的に発生した痕跡が認められる所もある。このように造成地全体が、下方に移動する被害は、今回の宅地地盤被害に特徴的に現れており、地震時における宅地造成地の設計上の要求性能を考える上で、重要な検討課題である。（写真3.2.3.15）

④ 個々の宅地地盤の崩壊（擁壁の破壊、亀裂など）

主に個々の住宅の建設のために盛土された宅地の擁壁部分に倒壊、はらみ、亀裂の発生が認められる。擁壁の損壊と同時に住宅も倒壊しているものも多く認められるが、住宅の被害と擁壁崩壊との因果関係は明らかではない。しかし、既に、発表されている六甲山系の山麓地域の震度分布を見ると、震度Ⅴ程度の地域が、ほとんどであり、地盤の変状が大きく影響していることが考えられる。

今回、被災した地域の擁壁は、空積み擁壁（壁体背面がコンクリートで補強されていないブロック式擁壁）、練石積み擁壁（壁体背面がコンクリートで補強されている石材擁壁）がほとんどであり、従って、被災した擁壁もこの種のものが多い。なお、鉄筋コンクリート製の擁壁にも、折損などの被害が認められるものの、多くは、ひびわれなどの軽微な被害に留まっている。（写真3.2.3.16～写真3.2.3.18）

（4）まとめ

建築基礎及び宅地地盤の被害状況などを下記に示す。

a) 建築基礎

1. 基礎構造に何らかの被害が想定される建築物は、現在把握したところで200棟を超えており、相当数の建築物において基礎に何らかの不具合が生じていると考えられる。
2. 建築物基礎の被害原因としては、液状化、側方流動などの地盤変状に起因するものが多い

と考えられる。

3. 直接基礎の場合は、不動沈下などにより建築物が傾いているケースがあるが、基礎の構造被害としては軽微な場合が多い。これに対して、杭基礎では杭体の破壊など構造被害が生じているケースが多い。
4. 杭基礎では、杭種（既製コンクリート杭、場所打ちコンクリート杭、鋼管杭）を問わず、被害を受けているが、摩擦杭や地盤改良を採用したケースでは、被害が少ないようであり、支持杭以外の基礎形式についても合理的な検討を加えることが必要である。ただし、一部、改良地盤上の建築物が不同沈下したケースもあるため、改良効果と被害の関係を詳細に検討することが必要である。
5. 一柱一杭では被害が多いようであり、杭配置を踏まえた被害原因の調査が必要である。
6. 直接基礎の建物では、不同沈下が生じた建物（4F～10F程度）の多くは、N値=10～30や砂層・砂礫層を支持層としている。

b) 宅地地盤

1. 宅地地盤の被害は、造成地の広い範囲に及ぶ場合と個々の宅地内で生じているもの、およびこれらの中間的なもの（複数の宅地に及ぶものや道路など公共の敷地との複合的なものなど）に分類される。
2. 被災した多くの造成地は、激震地帯からやや離れた、震度V程度の地域が多い。
3. 造成地の盛土部分では、勾配が10度前後のものが多く、崩壊などの問題は通常はない。
4. 被災した宅地の中には、地下水位が高いため下方への変形が大きくなったと考えられる所がある。
5. 個々の宅地の被害については、空積み擁壁など構造的に脆弱な擁壁が多く存在していたためと考えられる。

(5) 今後の対策

a) 建築基礎

1. 杭基礎に関しては、継続的な被害調査の実施と設計条件の把握が必要である。
2. 大地震を含めた基礎の耐震設計法の確立が必要である。この場合、液状化や側方流動などの地盤変状や、地盤改良、杭配置の影響などを十分考慮する必要がある。
3. 現地調査において、ジャッキアップや注入などにより傾いた建物を持ち上げて修正したり、損傷した杭を鋼管圧入などして復旧している状況が確認されたが、基礎の復旧技術に関しては十分確立していない面があるので、基礎の復旧工法に関する検討が必要である。

b) 宅地地盤

1. 宅地地盤の今後の防災上のポイントは、各被災地域での2次災害発生の可能性の判断と発生規模の予測である。危険度の高いものについては、地盤の変状を観測するための動態観測体制が緊急かつ長期にわたって必要である。一般的に被災した宅地地盤の2次災害に関する対策を考える上で表3.2.3.1のようなものが必要となるが、これには現地調査の資料のほか、造成時の資料なども必要となる。
2. 被災した多くの地域に増し積み擁壁や、擁壁上のはり出し構造物が認められる。防災上の

観点から地域全体として、善処されることが望まれる。現在、比較的規模の大きな宅地被害への対応としては、災害関連緊急傾斜地崩壊対策事業（特別措置）のような緊急対策の実施が予定され、現在対象箇所の調査が行われている。個々の宅地のみに関する被害については、個人復旧の原則から、災害復興宅地融資制度などの積極的な活用により対処せざるをえない。また、個人による宅地地盤の復旧に関しては、宅地地盤の復旧技術マニュアル（仮称）が作成されている。

3. 擁壁についても、耐震性の検討が必要である。特に、ブロック擁壁（練積み、空積み）については、耐震性の再検討が必要である。
4. 地盤の変状による建築物の不同沈下や設備配管の破損等を防止するため、地盤改良の方法を検討する必要がある。

表3. 2. 3. 1 宅地地盤の災害対策

被災箇所	被害の状況	必要な情報	対策の種類
1.自然斜面、切土	崩壊、亀裂	地形情報（斜面高さなど） 地盤情報（地盤調査結果） 被災範囲 造成時の設計条件	法面安定化工法 地盤の固化 地滑り抑止工法 排水対策
2.盛土地盤	崩壊、亀裂（移動）	地形情報（斜面高さなど） 地盤情報（地盤調査結果） 被災範囲 造成時の設計条件	地盤の固化 地滑り抑止工法 排水対策
3.個々の宅地	擁壁の崩壊	被災の状況（図面） 擁壁の形状、土質	擁壁の再構築 擁壁の補強 亀裂の修理

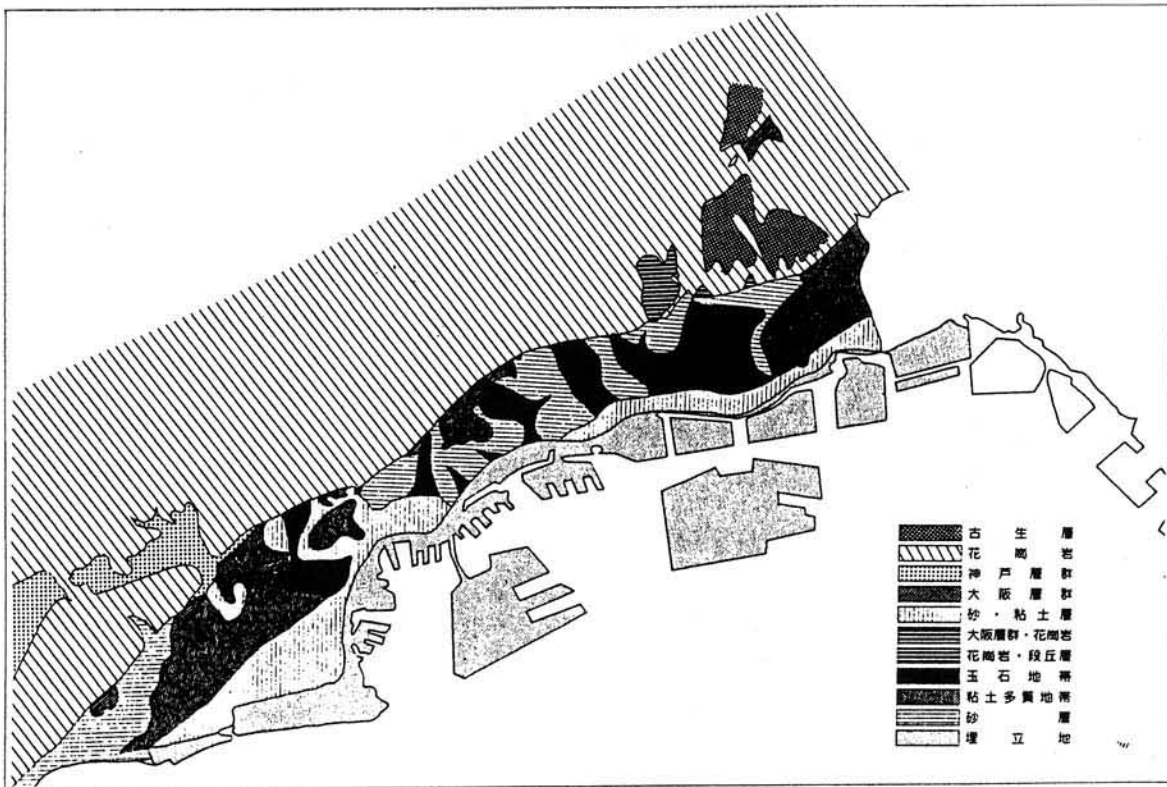


図3. 2. 3. 1 表層地盤の概要

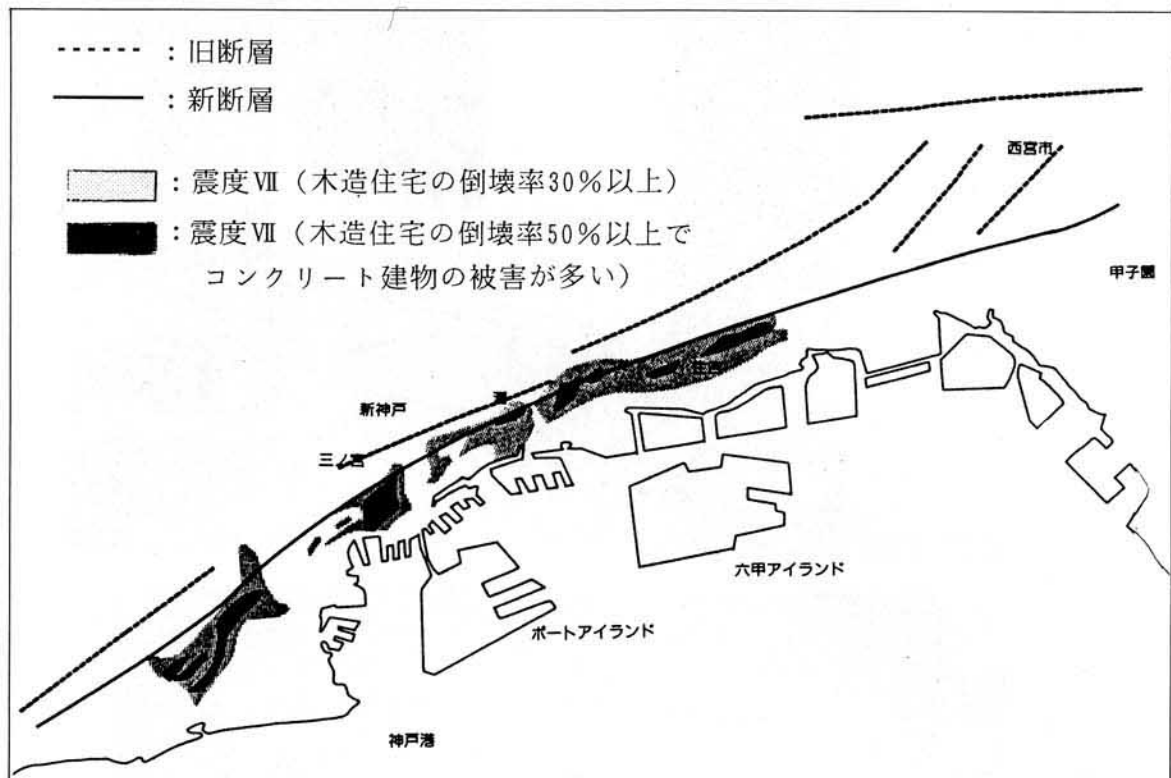


図3. 2. 3. 2 断層位置及び震度Ⅶの地域（朝日新聞及び東京新聞）

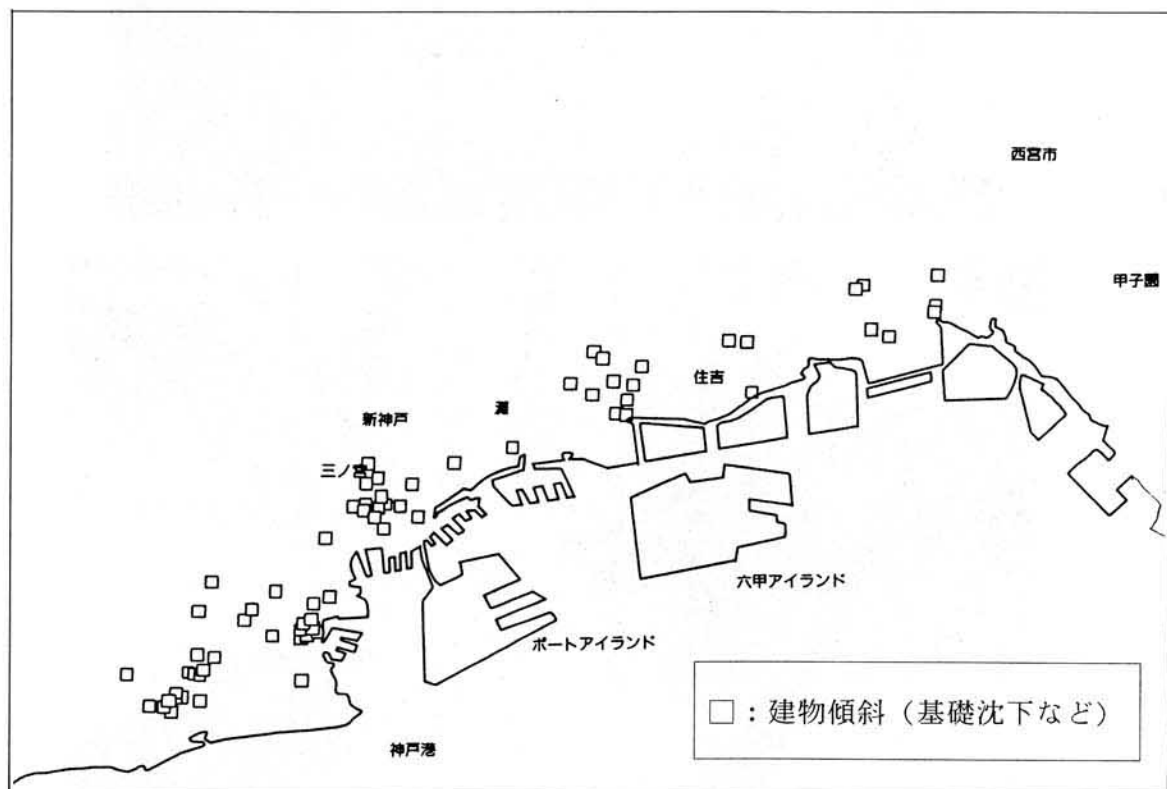


図3. 2. 3. 3 緊急調査による建築基礎の被害状況

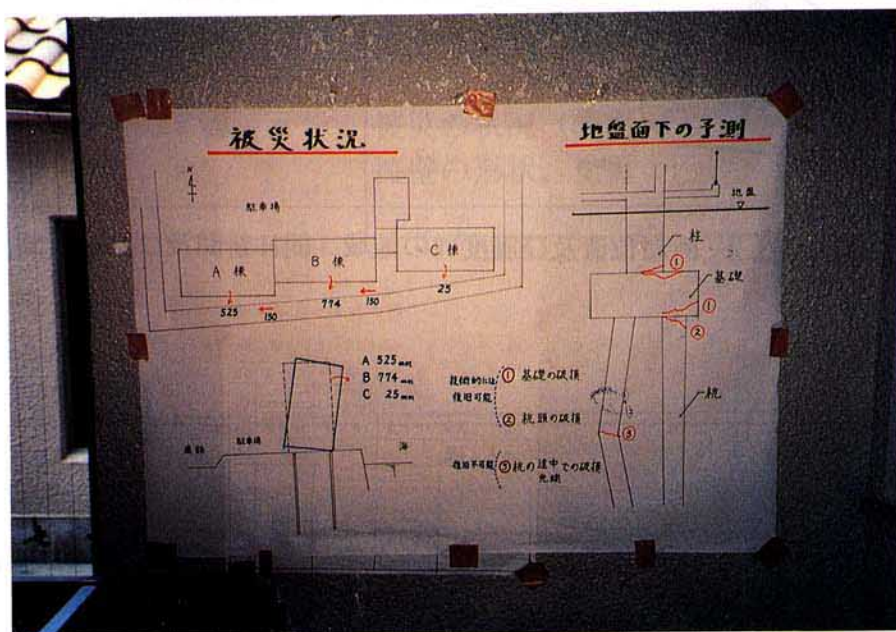


写真3. 2. 3. 1 杭基礎建物 (SRC11F) の被害



写真3. 2. 3. 2 杭基礎建物（RC3F）の被害状況



写真3. 2. 3. 3 直接基礎建物（S4F）の被害状況

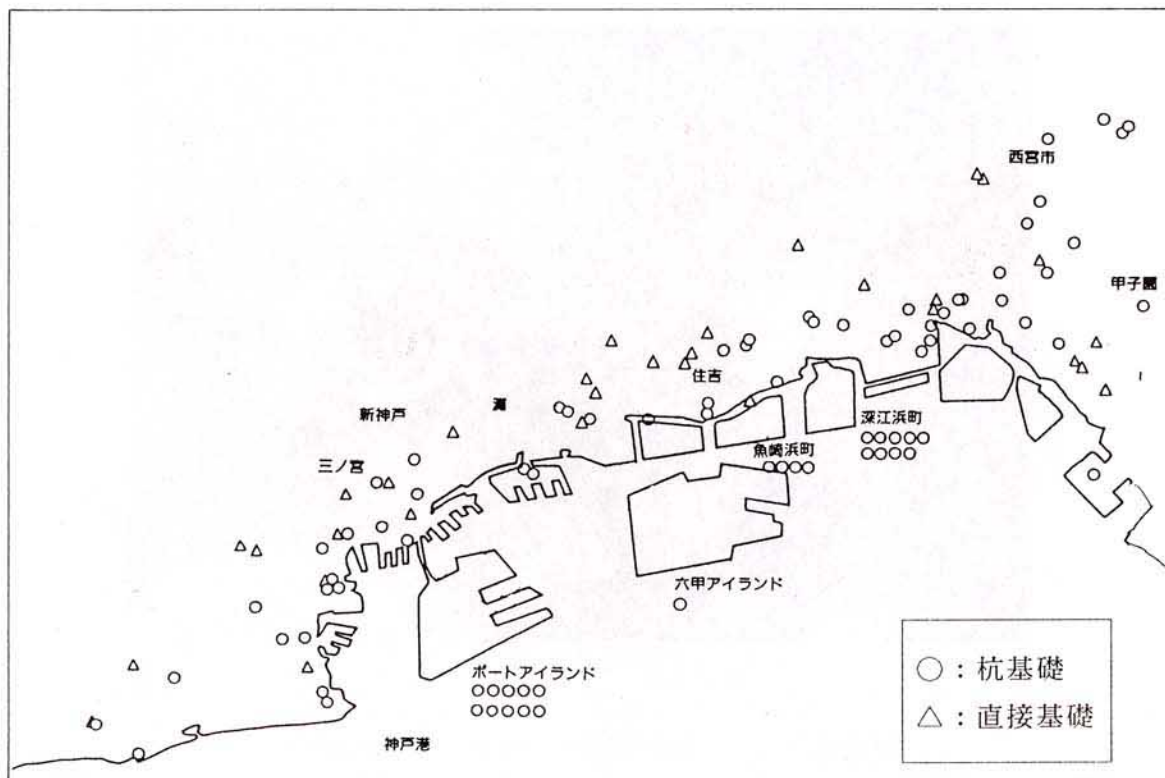


図3. 2. 3. 4 現地調査などによる建築基礎の被害状況



写真3.2.3.4 杭基礎（RC杭、 ϕ 300）の被害状況



写真3.2.3.5 杭基礎（場所打ち杭、 ϕ 1800）の被害状況



写真3. 2. 3. 6 杭基礎（無筋現場造成杭、 $\phi 300$ ）の被害状況



写真3. 2. 3. 7 直接基礎（RC10F）の被害状況



写真3. 2. 3. 8 直接基礎（RC9F）の被害状況

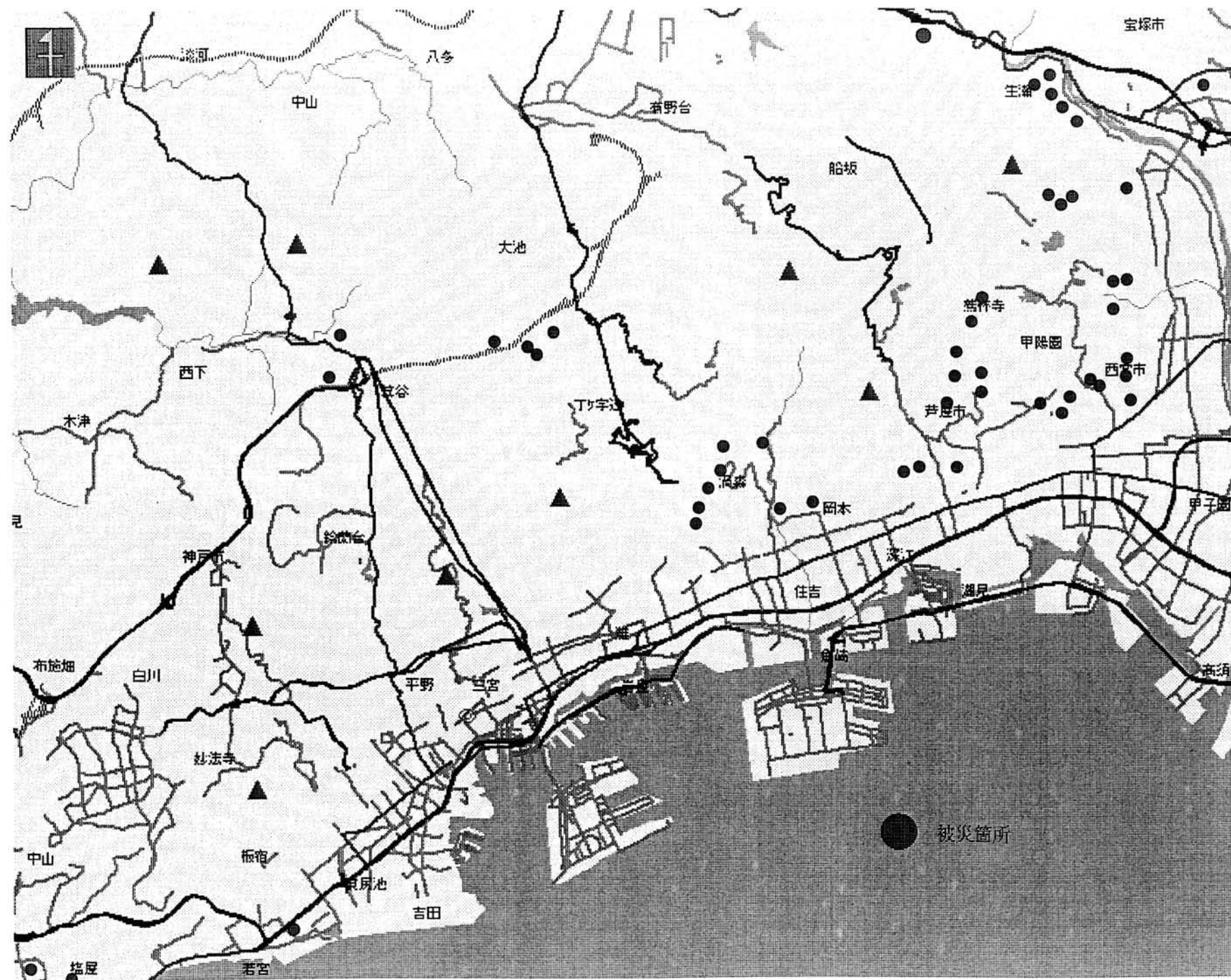


図3. 2. 3. 5 被災した宅地造成地の分布



写真3.2.3.9 造成斜面の崩壊（西宮市仁川百合野町）



写真3. 2. 3. 10 自然台地上宅地内の亀裂（西岡本）



写真3. 2. 3. 11 西岡本道路の亀裂（シート保護）



写真3. 2. 3. 12 造成地の移動による被害

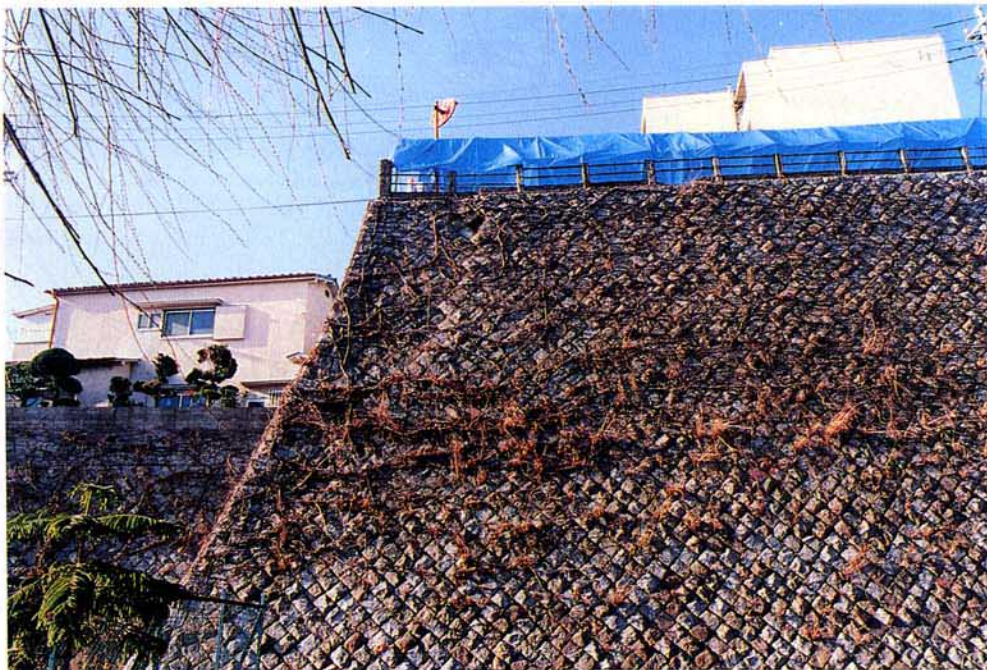


写真3. 2. 3. 13 高い石積み擁壁の被害（垂水区高丸）



写真3. 2. 3. 14 擁壁の滑動（芦屋市三条）



写真3. 2. 3. 15 埋設車庫内の流出土砂（芦屋市剣谷）



写真3. 2. 3. 17 個々の宅地被害（石積み擁壁）



写真3. 2. 3. 16 個々の宅地被害（石積み擁壁）



写真3.2.3.18 個々の宅地被害（練積みブロック）

3. 2. 4 非構造部材

(1) はじめに

平成7年1月17日兵庫県南部地震では、広範囲にわたって数多くの建築物で構造体への被害があり、非構造部材の被害の広がりも大きかった。今回の地震では構造体の被害も著しく、非構造部材の被害はあまり問題ではないという見方もあるが、外壁等の落下物による危険性、非構造部材の被害によって災害時に機能を発揮すべき建物で機能維持ができなかったなど、非構造部材の安全性にかかわる問題も多い。

建設省建築震災調査委員会緊急調査の結果にもとづいて、マクロな視点から非構造部材の被害概要をまとめた。

非構造部材ごとの被害原因は建築研究所第2次、第3次調査にもとづいてまとめた。また構造体と非構造部材の被害程度の相関性から今回の非構造部材の被害の特徴を明らかにした。

(2) マクロ分析の概要

建築震災調査委員会緊急調査の調査票のうち、非構造部材の分析に関する部分を表3.2.4.1に示す。RC造(SRC造を含む)とS造における、①倒壊又は崩壊、②大破、③中破、④小破以下の意味を表3.2.4.2に示す。収集されたデータのうち、神戸市内の地区別の内訳を図3.2.4.1に示す。非構造部材に関しては、①ALC帳壁縦壁挿入筋工法、②窓ガラス、③PCカーテンウォール、④ラスシートモルタル又はラスモルタル(以下ラスモルタル等)、⑤RC下地タイルについて、調査が行われた。

(3) マクロ分析調査結果

構造体の被災度ランクと各非構造部材の被害程度を図3.2.4.2～8に示す。

- ① S造における構造体の被災度ランクとALCパネルの被害程度を図3.2.4.2に示す。S造における中破の被災度ランク判定の1条件として「外壁ALC板の1/3以上が落下し若しくは落下しそうになっている」があげられている。このため、構造体の被災度ランクとALCパネルの被害程度は独立した関係ではない。S造における窓ガラスの被害程度(図3.2.4.5)と比べると、ALCパネルの(1/3以上脱落)+(1/3未満脱落)は、窓ガラスの(50%以上破損)+(各階に破損)より、構造体の同一被災度で見ると相対的に多い。
- ② RC造における窓ガラスの被害は構造体の被災度ランクが小さくなるにつれて小さくなり、窓ガラスの一部破損が相対的に多い(図3.2.4.3)。構造体が大破、中破、小破以下の被害(すなわち倒壊又は崩壊以外)の建物について、竣工年別に窓ガラスの被害程度を見ると、1960年頃をピークに「各階に破損」以上の被害が減少している(図3.2.4.4)。1978年2月20日宮城県沖地震における窓ガラスの被害報告(文献1)では次のように述べている。

「窓ガラスの被害は硬化性パテどめのはめ殺し窓に多く、1965年頃からガラスの取り付けには弾性シーラントがさかんに使われるようになり、硬化性パテを用いたはめ殺し窓が減少した」。新しい建物での被害の減少はこうした材料・工法の改善が反映したものと考

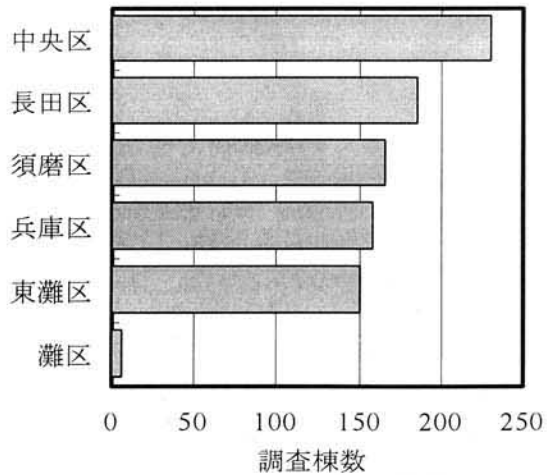


図 3.2.4.1 調査した建物の神戸市内の地域区分

表 3.2.4.1 調査票（非構造部材関係分の抜粋）

建物概要	13.構造（複合構造の場合、該当構造全てに印をつける。）	現場打ちRC造，プレキャストRC造，SRC造，S造，その他（煉瓦造，木造，梁鉄骨など）
被害概要	21.被災度ランク	倒壊又は崩壊，大破，中破，小破以下，全焼（倒壊，大破，中破，小破），部分焼（倒壊，小破）
	31.ALC 帳壁縦壁挿入筋工法	1/3 以上脱落，1/3 未満脱落，パネルの欠けのみ，ひび割れのみ，無被害，該当工法なし，不明
	32.窓ガラス破損状況	50%以上破損，各階に破損，一部破損，無被害，該当ガラスなし，不明
	33.窓ガラス破損	震動による，火災による，震動＋火災，不明
	34.PC カーテンウォール	脱落（枚／枚中），脱落しかけ，要補修，無被害，該当工法なし，不明
	35.ラスシートモルタル又はラスモルタル	50%以上脱落，一部脱落，ひび割れのみ，無被害，該当工法なし，不明
	36.RC 下地タイル	50%以上脱落，一部脱落，ひび割れのみ，無被害，該当工法なし，不明

えられる。なお、建設省告示第 109 号 (1978 年改正) で硬化パテどめのはめ殺し窓の使用が制限された。

- ③ S 造の場合、大破で 50 % 以上と破損がやや大きい、小破以下で無被害も多い (図 3.2.4.5)。
- ④ 調査範囲では P C カーテンウォールは R C 造、S 造を合わせて、脱落、要補修が数件であった。
- ⑤ S 造におけるラスモルタル等は構造体の被災度ランクとあまり関係なく、一部脱落、50 % 以上脱落が多い (図 3.2.4.6)。
- ⑥ R C 造における R C 下地タイル張りでは、一部脱落が大破以上の建物で多く見られた (図 3.2.4.7)。
- ⑦ 脱落した A L C 帳壁とラスモルタル等の 5 年毎の竣工年代分布を見ると、ラスモルタル等の脱落は 1965 ~ 1974 年頃に多く、全体として古い建物での被害が目立っている (図 3.2.4.8)。

(4) 非構造部材の被害の概要

2 次調査と 3 次調査の結果をもとに、非構造部材ごとに R C 造、S R C 造、S 造建物における被害を示す。

a) 窓ガラス

主として R C 造で、はめ殺し窓ガラス (ショーウィンドウを含む) の破損が多数見られた。建物の全層にわたって、コーナー部のガラスが破損したケースがある。今後コーナー部も含めて納まりを検討する必要がある。日中や夕方など繁華街で歩行者の多い時間帯に地震が発生し、多量のガラス片が歩道上に落下していたら、人命への危険はさらに高くなっていたらう。外壁面全体にわたる多数の窓ガラスの被害には何らかの構造体自体の被害を伴っている。

窓ガラスは、硬化性パテどめのはめ殺し窓では 1/1500 ~ 1/500 の層間変形角で破壊すると考えられ、このため建設省告示第 109 号 (昭和 46 年、昭和 53 年に改正) では、網入ガラスを除いて 3 階建以上の場合、使用が制限されている。1978 年 2 月の宮城県沖地震の際の調査によると、硬化性パテどめは昭和 40 年頃までよく使われ、その後ガラスの取り付けは弾性シーラントやグレージングチャンネルに変わった。弾性シーラントやグレージングチャンネルでは条件にもよるが層間変形角 1/200 程度までは追従しうると考えられる。片引き窓や引き違い窓はさらに変形追従性が高い。現時点では、はめ殺し窓が硬化性パテ止めであったかどうか、窓の形式がはめ殺し窓か可動窓か不明な点も多いが、これまでの知見から、硬化性パテ止めはめ殺し窓、はめ殺し窓、可動窓の順に窓ガラス被害が拡大していくものと考えられる。

b) 鋼製玄関ドア

鋼製玄関ドアでは、S R C 造・R C 造の集合住宅におけるドア周辺の雑壁の破壊に伴って、ドア枠・蝶番・ドア本体の変形が生じ、ドアが開閉不能に至った。その結果、住民の室内からの避難が不可能になったが、室内で火災などが発生し緊急に避難する場合も考えられる。雑壁が損傷しないように構造設計ができないとすれば、変形追従性の高いドア (いわゆる耐震ドア) の採用や、取り付け方法に工夫 (雑壁と面をずらす) が必要であろう。

表 3.2.4.3 RC造(SRC造を含む)とS造の被災度ランク

	RC造(SRC造を含む)	S造
倒壊又は崩壊	建築物の全体又は一部が倒壊又は崩壊した場合	建築物の全体又は一部が倒壊又は崩壊した場合
大破	①柱のせん断ひび割れ又は曲げひび割れによる鉄筋の露出及び座屈, ②耐力壁に大きなせん断ひび割れ, が生じて耐力に著しい低下が認められる場合	①層に 1/30 以上の傾斜, ②主要な構造部材に大きな局部座屈や全体座屈などの著しい損傷 (筋かいの 50%以上が破断した場合を含む) , ③塔屋等屋上突出物の倒壊又は崩壊,が見られる場合
中破	①柱に典型的なせん断ひび割れ又は曲げひび割れ, ②耐力壁にせん断ひび割れ, ③2次壁又は非構造体に大きな損傷, ④エキスパンションジョイント, 渡り廊下, 塔屋等建築物の付属部分に局部的な構造体の破壊, が見られる場合	大破及び小破以下に該当しない場合 例えば, ①主要な構造部材に局部座屈などの損傷 (筋かいの 20%以上 50%未満が破断した場合を含む) が生じている, ②外壁 ALC 板の 1/3 以上が落下し若しくは落下しそうになっている, 場合等
小破以下	①柱及び耐力壁の軽微な損傷, ②2次壁又は階段室のまわりにせん断ひび割れ, が見られる場合	①筋かいを除く部材, 接合部及び基礎が変形しておらず, かつ, 筋かいの破断率が 20%未満の場合, ②外壁ラスモルタルの全面又は一部が落下しても主要な構造部材に損傷がない場合

は本報告で対象とした非構造部材が「被災度ランク」の判定条件になっている部分

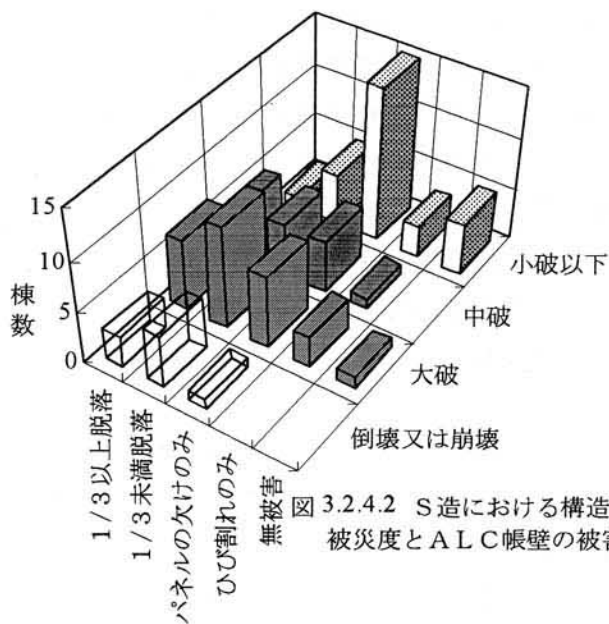
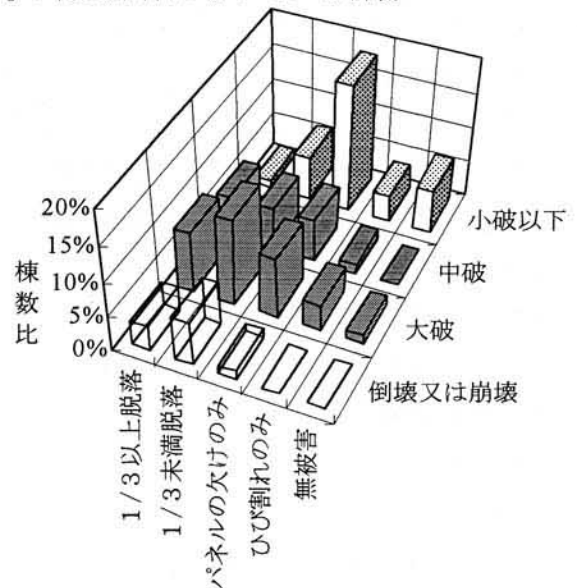
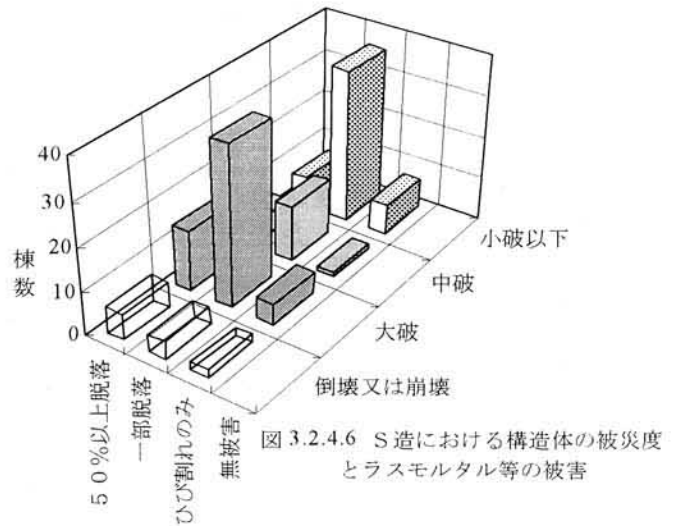
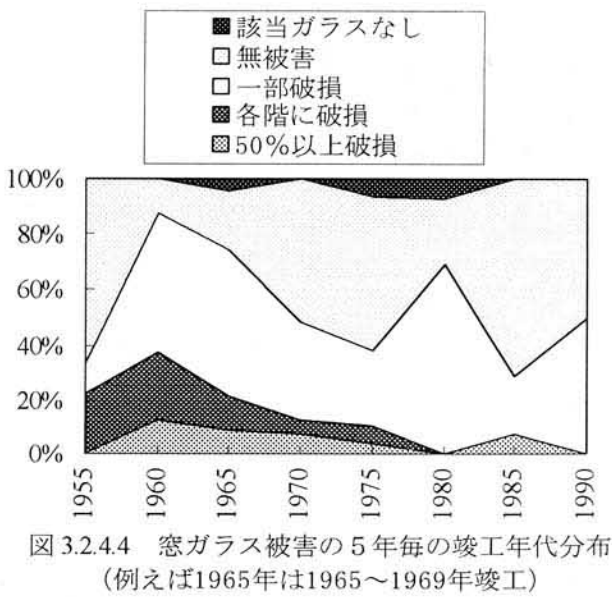
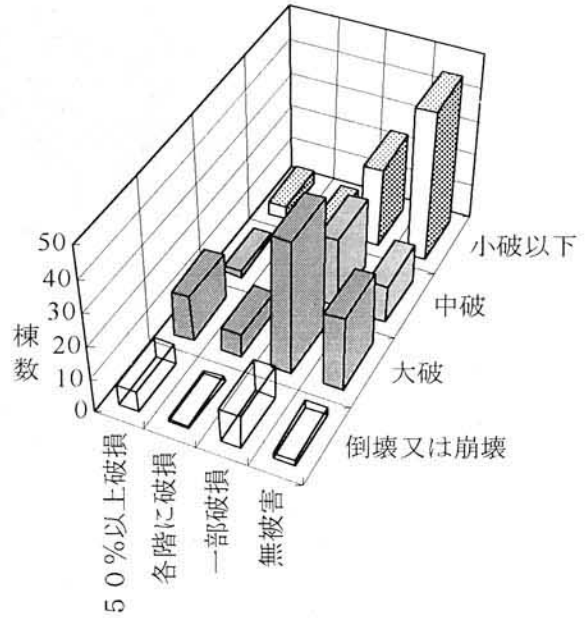
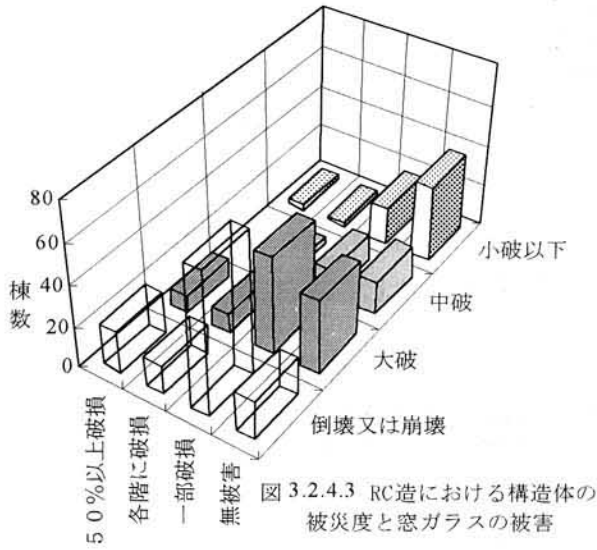


図 3.2.4.2 S造における構造体の被災度とALC帳壁の被害



(棟数比は本図の全体に対する比率)



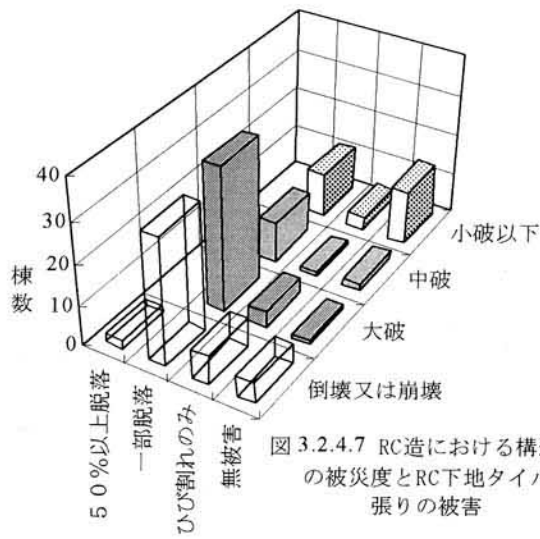


図 3.2.4.7 RC造における構造体の被災度とRC下地タイル張りの被害

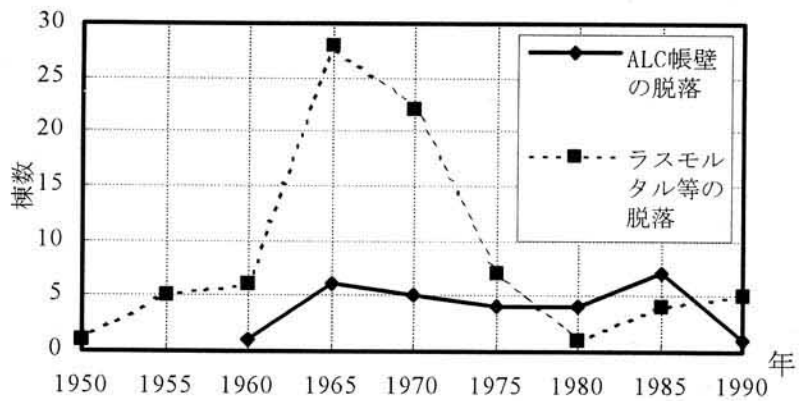


図 3.2.4.8 脱落したALC帳壁とラスモルタル等の5年毎の年代分布 (例えば1965年は1965～1969年竣工)

c) ALC 帳壁

ALC 帳壁の取り付け構法には次の4構法がある(表3.2.4.3)。

- ①縦壁挿入筋構法
- ②縦壁スライド構法
- ③横壁ボルト止め構法
- ④横壁カバープレート構法

こうした構法のうち、①の縦壁挿入筋構法は最も古くから使われ、最も普及している構法である。この4構法の中では変形追従性が最も乏しい。調査した建物に使われている取り付け構法はほとんどが縦壁挿入筋構法であった。縦壁挿入筋構法を対象とした建築研究所受託試験報告書「面内せん断変形による外装 ALC 板の剥落試験」昭和54年1月31日(文献2)では次のように結論づけている。

①縦壁挿入筋構法による ALC 外壁は、躯体の層間変形角が数十分の一に達するまで剥落しない。

② ALC 外壁に発生する亀裂は躯体の層間変形角が1/200程度より小さい場合は軽微である。ただし、この試験は窓などの開口部がなく、取付部の劣化もない条件での試験である。

調査の結果、S造では経済性の点から ALC 帳壁が一般によく用いられる構法であり、ALC 縦壁挿入筋工法のひびわれ、脱落が見られた。特に出隅、開口部まわりのひびわれが特徴である。ALC 帳壁の脱落(あるいは脱落寸前)といった著しい被害は何らかのS造構造体の被害か、出隅・開口部まわりの納まりの問題、施工上の問題と考えられる。

なお、近年 ALC 各メーカーは先の4構法のほか、変形追従性の高いロッキング方式の取り付け構法を提唱している。

ALC 帳壁を下地としたタイル張りも各所で見られた。被害の程度は塗装仕上げの ALC 帳壁と同程度である。このことはタイル張り工法が良いという意味ではなく、ALC 縦壁挿入筋工法の変形追従性が乏しいことによるものであり、こちらを改善する必要がある。

d) ラスモルタル・ラスシートモルタル

S造におけるラスモルタル、ラスシートモルタルの脱落が見られた。腐食の著しい場合が多い。ラスモルタルタイル張りの上にモルタルが重ね塗りされた厚塗り(厚さ60~70mm)のものもあった。ラスシートモルタル工法でモルタルが厚塗りで重くなっている場合も多いが、重いこと自体が問題というよりも、もともと変形追従性の乏しい工法であったことに加え、腐食等で接合部が脆弱になっていたため破壊・脱落に至ったものであろう。

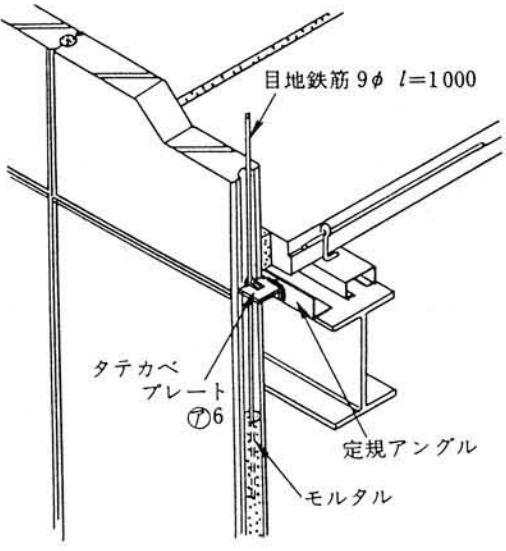
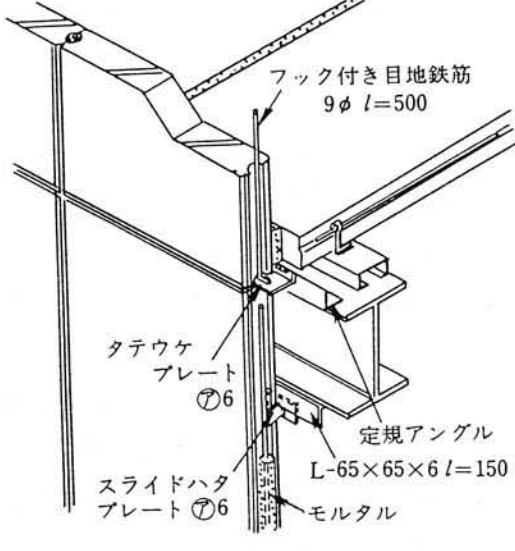
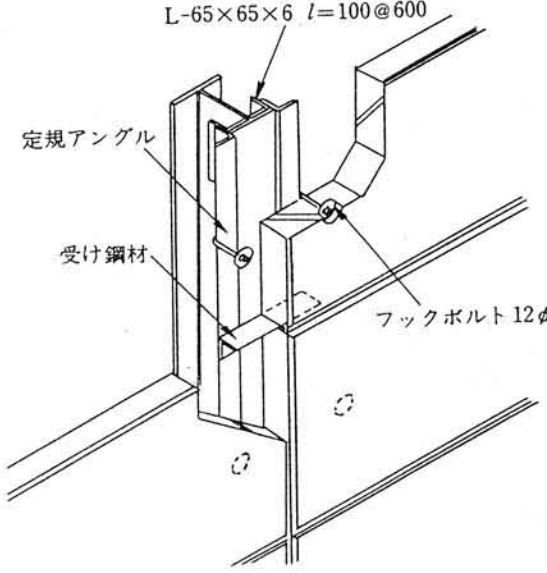
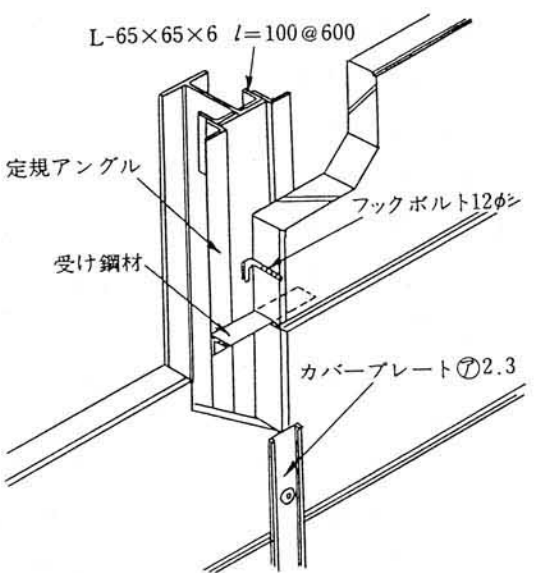
e) タイル張り(コンクリート下地)

今回の調査では下地のコンクリートのひび割れに沿った、タイルのひび割れ・剥落が多く見られた。コンクリート下地のタイル張りは地震時以外でも剥落の危険性が指摘されている。コンクリートのひび割れを伴わないタイルの剥落も見られ、この被害は地震以前から剥離していた可能性も考えられる。

f) 石張り

石張りの脱落、ひびわれが、S造、RC造等の1階部分で見られた。石張りは主に1階で用いられていて、床面との衝突による被害が多い。

表 3.2.4.3 ALCパネル帳壁構法の種類

	従来構法	改良構法
縦壁	 <p>目地鉄筋 9φ l=1000</p> <p>タテカベプレート ⑦6</p> <p>定規アングル</p> <p>モルタル</p> <p>縦壁挿入筋構法</p>	 <p>フック付き目地鉄筋 9φ l=500</p> <p>タテウケプレート ⑦6</p> <p>定規アングル</p> <p>スライドハタプレート ⑦6</p> <p>L-65×65×6 l=150</p> <p>モルタル</p> <p>縦壁スライド構法</p>
横壁	 <p>L-65×65×6 l=100@600</p> <p>定規アングル</p> <p>受け鋼材</p> <p>フックボルト 12φ</p> <p>横壁ボルト止め構法</p>	 <p>L-65×65×6 l=100@600</p> <p>定規アングル</p> <p>受け鋼材</p> <p>フックボルト 12φ</p> <p>カバープレート ⑦2.3</p> <p>横壁カバープレート構法</p>

出典：日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 JASS 21 ALCパネル工事」1989.5

表 3.2.4.4 非構造部材の脱落・落下に相当する損傷

非構造部材の種類	調査票で脱落・落下に相当する被害
A L C 帳壁	1/3 以上脱落または 1/3 未満脱落
窓ガラス	50%以上破損または各階に破損
ラスシートモルタル・ラスモルタル	50%以上脱落または一部脱落
R C 下地タイル	50%以上脱落または一部脱落

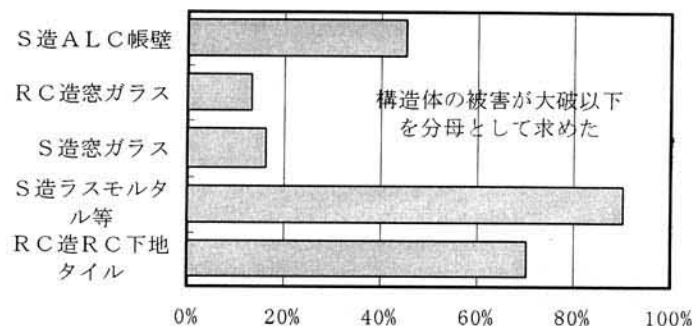


図 3.2.4.9 脱落・落下に相当する非構造部材の被害率

g) カーテンウォール

PCカーテンウォールの被害として、RC構造体の層崩壊に伴うPCカーテンウォールの脱落があった。ファスナーが可動であったか否かは不明である。可動であったとしても構造体の層崩壊に伴う脱落は防止できない。一方、PCカーテンウォールのパネル隅に損傷のある建物があった。パネル隅は明らかにファスナーの外側であり、可動ファスナーにより層間変位に追従した結果、パネル同士がせりあってパネル隅に損傷が生じたものと見られる。調査した範囲では、構造体の全体崩壊、層崩壊の場合を除けば、PCカーテンウォールの脱落被害は非常に少なかった。なお、PCカーテンウォールは建設省告示第109号で「上部又は下部の支持構造部分において可動とすること」とされている。

また、メタル系カーテンウォールやファサードを総ガラスとした構法(SSG構法*か否かは不明)の被害もPCカーテンウォールと同様に軽微であった。

* SSG構法: Structural Sealant Glazing System の略。建築物の窓や外壁を構成する板ガラスをサッシの溝に呑み込ませて支持固定するのではなく、シリコーンゴム系などの構造シーラントを板ガラスと支持部材との隙間に充填して構造接着系を形成し、板ガラスに加わる種々の外力に対して安全に支持固定することを狙ったものである(文献3)。

【非構造部材の被害パターン】

① 窓ガラスの被害



写真 3.2.4.1
全層で窓ガラスの破損



写真 3.2.4.2
全層でコーナー部のガラスが破損



写真 3.2.4.3
破損したガラスの散乱状況



写真 3.2.4.4
全層で窓ガラスの破損，建物の被害は認められない



写真 3.2.4.5
溝型ガラスの破損

② 鋼製玄関ドアの被害



写真 3.2.4.6
1F 雑壁斜めひび割れのために鋼製玄関ドアが開閉不能となった

③ ALCの被害



写真 3.2.4.7

ALC縦壁挿入筋工法のパネルの脱落



写真 3.2.4.8

ALC縦壁挿入筋工法、目地の破損やパネルのはらみ出しを生じている



写真 3.2.4.9

A L C横壁工法, 目地部が破損している

① ラスシートモルタル, ラスモルタル, モルタルの被害



写真 3.2.4.10

ラスシートモルタルの脱落



写真 3.2.4.11
ラスシートモルタルの全面脱落



写真 3.2.4.12
ラスモルタル木ずり下地の脱落



写真 3.2.4.13

ラスモルタルの上にタイル張りとし、さらにモルタルで改装している。
全体の厚さは60～70mm 1階層崩壊に伴うラスモルタル外装の脱落



写真 3.2.4.14

ALC縦壁を下地としたモルタルの脱落

⑤ タイルの被害



写真 3.2.4.15

外装タイルの剥落（下地コンクリートとモルタル間の剥離）



写真 3.2.4.16

コンクリート壁のひび割れに沿った外装モザイクタイルの剥落

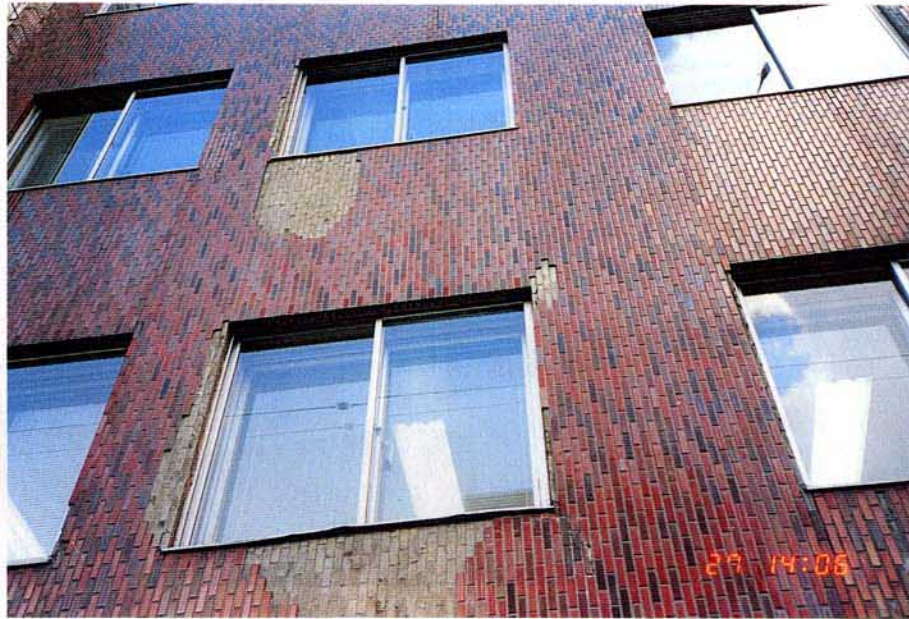


写真 3.2.4.17
タイルのみの剥落



写真 3.2.4.18
ALC帳壁縦壁挿入筋工法を下地としたタイルのひび割れ・剥落（ALCの目地部）

⑥ 石張り仕上げの被害



写真 3.2.4.19
RC下地石張りの脱落

⑦ カーテンウォールの被害



写真 3.2.4.20
PCカーテンウォールの脱落, 建物は層崩壊している



写真 3.2.4.21

躯体の層間変位に追従した結果生じたP Cカーテンウォールの隅の破損

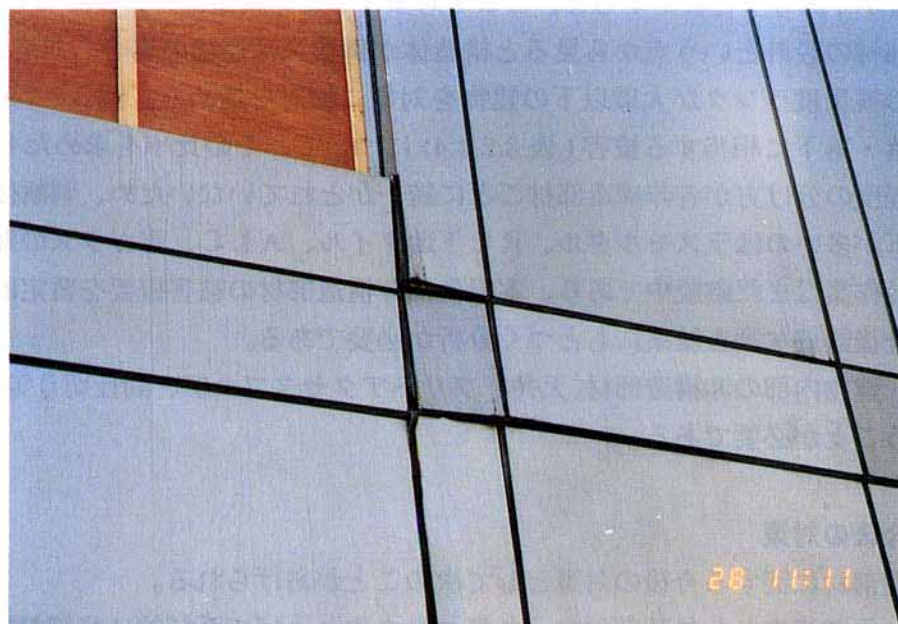


写真 3.2.4.22

メタルカーテンウォールの目地ずれ

(5) 非構造部材の被害原因

非構造部材の被害原因を大別すると次のようになる。

- ① 想定以上の層間変位が非構造部材に作用した。非構造部材の設計にあたっては中地震程度を想定して、最大でも 1/120 程度の層間変位を想定するため、これを超えた層間変位が作用して非構造部材が破壊に至った。構造体の著しい被害による場合もこれに該当する。
- ② 非構造部材自体が変形追従性に乏しかった。建設省告示第 109 号(昭和 46 年)は 1978 年宮城県沖地震のあと非構造部材の耐震安全性について規制が強化されたが、これ以前の建物があったり、対象となっていない非構造部材があった。
- ③ ラスシートモルタル等の腐食など耐久性上の問題があった。また、必ずしも明確にはなっていない出隅、開口部まわりの納まりの問題があった。
- ④ 地震時に限らず、剥落の危険性が指摘されているコンクリート下地のタイル張り剥離の問題があった。

逆に被害がほとんどなかった非構造部材については、次のようなことが指摘できる。

- ① メタル系カーテンウォールのようにもともと変形追従性の高い材料構法であった。
- ② PC カーテンウォールや総ガラス構法のように当初から変形追従性を意図して設計・施工されていた。

(6) まとめ

日本建築学会「非構造部材の耐震設計指針」の強制変形角に対する設計目標にもとづいて、今回の地震は、①地震の強さは「大地震」、②建物の重要性は「その他の建物」、③避難に及ぼす影響が「あり」と仮定すると、ここで対象とした非構造部材は脱落なしが設計目標となる。非構造部材の設計という点から見ると構造体が倒壊又は崩壊の場合、対応は困難であるので、構造体の被災度ランクが大破以下の建物を対象に検討を進める。図 3.2.4.9 は非構造部材の損傷が脱落・落下に相当する被害(表 3.2.4.4)について、その比率を求めたものである。調査票で被害程度の分け方が各非構造部材ごとに統一がとれていないため、判断はむづかしいが、脱落・落下が多いのはラスモルタル、RC 下地タイル、ALC、窓ガラスの順になる。なお、結果の集計作業はまだ継続中であり、本報告は非構造部材の被害概要を暫定的にまとめたものである。今後詳細な調査結果にもとづく分析が必要である。

また、建物内部の非構造部材(天井、フリーアクセスフロア、間仕切り等)の被害について調査を行うことが必要である。

(7) 今後の対策

非構造部材に関する今後の対策として次のことがあげられる。

- ① これまで調査した外装部材のうち幾つかを取り上げて系統的に詳細な調査を行うこと。これにより現行技術基準類の妥当性を検証する。
- ② 構造体の被害と非構造部材の被害の相関性を明らかにすること。これにより、非構造部材の設計にあたって想定すべき層間変位、許容される非構造部材の破壊程度の見直しをする。

- ③ 災害時に機能を発揮すべき公共施設、病院等における非構造部材の耐震性の確保について検討する。

〈参考文献〉

- 1) 建築研究所受託試験報告書「面内せん断変形による外装 ALC 板の剥落試験」、昭和 54 年 1 月 31 日
- 2) 建築研究所災害調査団、「1978 年 2 月 20 日宮城県沖地震による窓ガラスの破損に関する調査報告」建築研究資料 No. 23、1978 年 10 月
- 3) 日本建築学会材料施工委員会、「SSG 構法研究報告書」1989 年 11 月

3. 3 建築防火

3. 3. 1 はじめに

今般の地震により被害を受けた地域の緊急かつ健全な復興に資するとともに、他の諸都市における将来の適切な震災対策の推進のためにも被害の実態を可能な限り正確に把握、記録して後世に伝えていくことは重要な任務である。

建設省建築研究所では、焼け跡が現存する間に、

- ①火災による焼失区域、
- ②市街地火災の焼け止まりに寄与した建物・道路・工作物・植栽

などの状況の把握を主たる目的として、1995年1月19日～2月8日にかけて現地調査を実施し、合計150件の火災現場を確認して調査を実施した。このうち、

- ①複数建物に延焼した火災77件については、被災範囲・被災建物状況・焼け止まり線の状況を地図に記入し、被災面積・棟数・世帯数等を算出、
- ②単体建物火災73件については、被災程度・被災建物の構造・規模・外周・周囲建物等の状況を調査した。

ここでは¹⁾、市街地構造と延焼規模の関係、市街地火災の燃焼・延焼性状及び延焼阻止要因など、火災の延焼状況について述べる。

3. 3. 2 同時多発火災の発生状況

(1) 調査した火災の地域的分布

図-3.3.2.1は現地調査で火災の発生が確認された150件についての分布を焼失規模別に示す。震度Ⅶの地域を中心として構造的な被害が大であった市街地の範囲において、火災発生場所はほぼ均等に散在している。

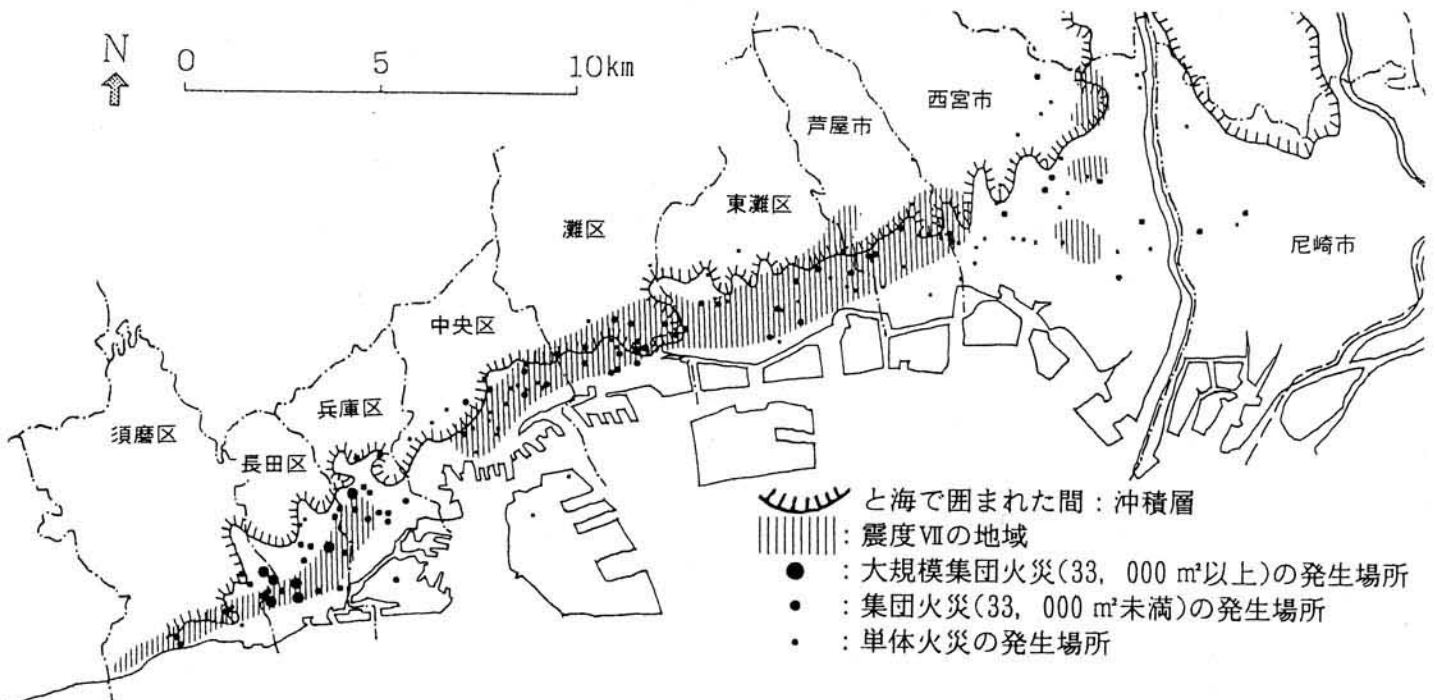


図-3.3.2.1 調査した火災の位置（神戸－尼崎間の沖積層と震度Ⅶの地域を同時に示す）

(2) 火災の延焼範囲

図-3.3.2.2～図-3.3.2.5は主たる火災（焼失面積10,000㎡以上）を含む地域の延焼範囲の分布を示す。

(3) 延焼規模別にみた火災の分布

表-3.3.2.1は調査結果に基づき、住宅地図を用いて焼失面積等を求めたものである。焼失区域内部の焼け残り部分や延焼阻止に寄与した空地等は集計の対象から除外している。これを見ると、焼失面積33,000㎡以上の大規模火災7件は、神戸市須磨区東部・長田区・兵庫区に集中していることがわかる。また、大規模火災に至らない集団火災も8割が神戸市内で発生している。その中でも、神戸市灘区以西では、確認された火災82件のうち、約65%に相当する53件が集団火災となっているのに対して、神戸市東灘区から尼崎にかけて確認された68件のうち、集団火災となったのは約35%の24件に留まっている。市別にみると、焼失面積の97.8%、焼損棟数の98.6%、罹災世帯数の97.0%が神戸市に集中している。

表-3.3.2.1 市区・延焼規模別の調査した火災の区域数と市区別焼失区域面積・焼損棟数等

	大規模 区域数 33,000㎡ 以上	集 団 区域数 1,000～ 33,000㎡	集 団 区域数 1,000㎡ 未満	単 体 火災の 区域数	火災の 区域数 の合計	焼失区域 面 積 (㎡)	焼損 棟数 (棟)	被災した 耐火的な 建築物数 (棟)	罹 災 世帯数 (世帯)
明石市	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (100.0)	1 (100.0)	187 (0.0)	1 (0.0)	1 (100.0)	1 (0.0)
神戸市 計	7 (6.9)	35 (34.3)	21 (20.6)	39 (38.2)	102 (100.0)	611,211 (97.8)	6,814 (98.6)	446 (6.5)	7,548 (97.0)
須磨区	0 (0.0)	4 (40.0)	3 (30.0)	3 (30.0)	10 (100.0)	31,695 (5.1)	351 (5.1)	15 (4.3)	596 (7.7)
須磨区・長田区*	2 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	2 (100.0)	140,648 (22.5)	1,583 (22.9)	132 (8.3)	1,746 (22.4)
長田区	4 (28.6)	7 (50.0)	1 (7.1)	2 (14.3)	14 (100.0)	251,938 (40.3)	2,926 (42.3)	190 (6.5)	3,100 (39.8)
兵庫区	1 (7.7)	7 (53.8)	5 (38.5)	0 (0.0)	13 (100.0)	87,619 (14.0)	972 (14.1)	29 (3.0)	1,004 (12.9)
中央区	0 (0.0)	3 (12.0)	4 (14.0)	18 (72.0)	25 (100.0)	13,473 (2.2)	88 (1.3)	25 (28.4)	112 (1.4)
灘区	0 (0.0)	7 (41.2)	5 (29.4)	5 (29.4)	17 (100.0)	48,370 (7.7)	561 (8.1)	39 (7.0)	617 (7.9)
東灘区	0 (0.0)	7 (33.3)	3 (14.3)	11 (52.4)	21 (100.0)	37,468 (6.0)	333 (4.8)	16 (4.8)	373 (4.8)
芦屋市	0 (0.0)	0 (0.0)	3 (23.1)	10 (76.9)	13 (100.0)	2,925 (0.5)	22 (0.3)	7 (31.8)	51 (0.7)
西宮市	0 (0.0)	1 (3.3)	8 (26.7)	21 (70.0)	30 (100.0)	8,259 (1.3)	66 (1.0)	11 (16.7)	101 (1.3)
尼崎市	0 (0.0)	1 (25.5)	1 (25.5)	2 (50.0)	4 (100.0)	2,090 (0.3)	10 (0.1)	0 (0.0)	84 (1.1)
合 計	7 (4.7)	37 (24.7)	33 (22.0)	73 (48.7)	150 (100.0)	624,672 (100.0)	6,913 (100.0)	465 (6.7)	7,785 (100.0)

*：1つの火災区域が須磨区と長田区にまたがる。被災耐火的な建築物数のカッコ内は（該当棟数/焼損棟数）

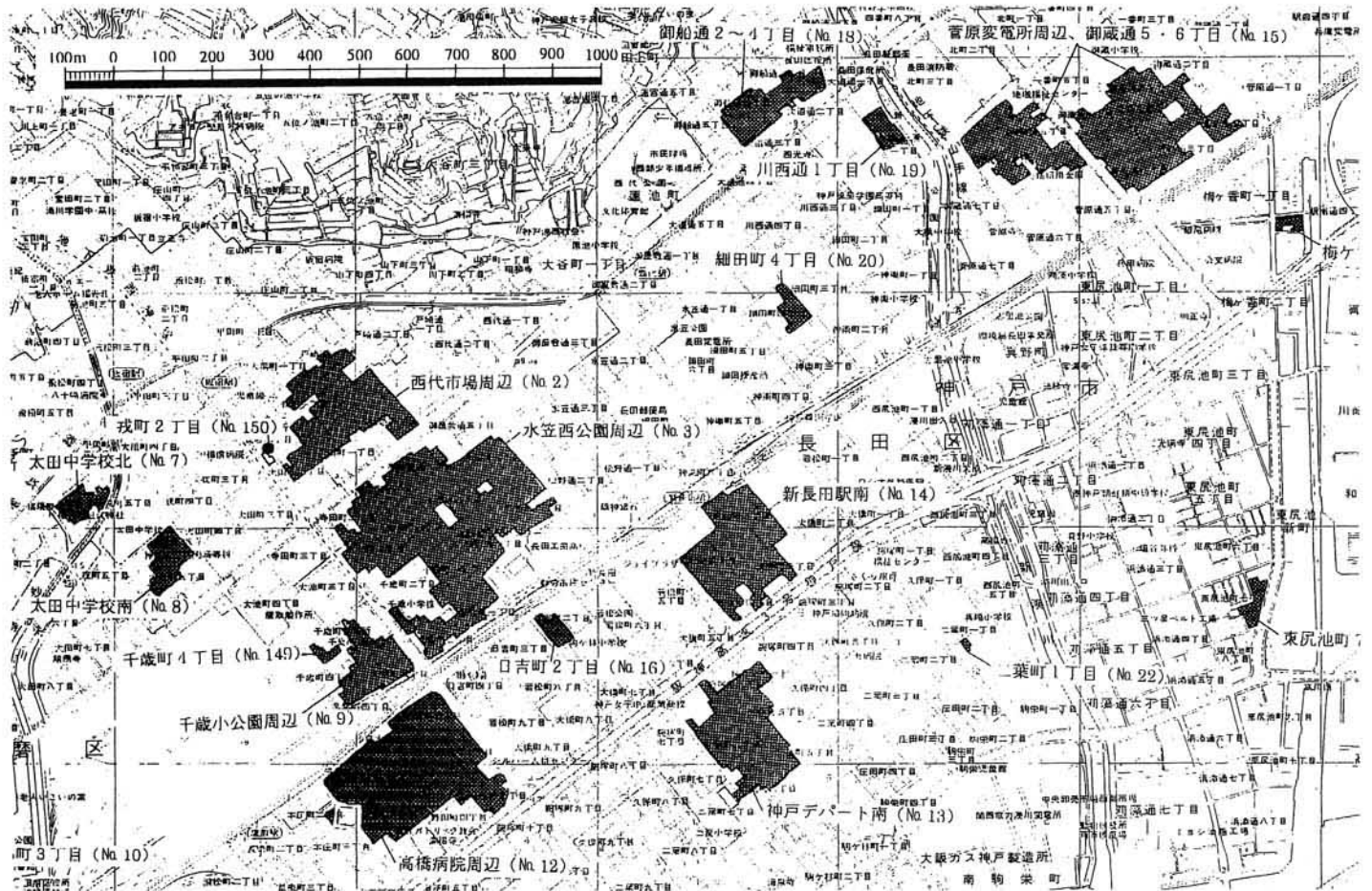


図-3.3.2.2 須磨区及び長田区の主たる火災の延焼範囲

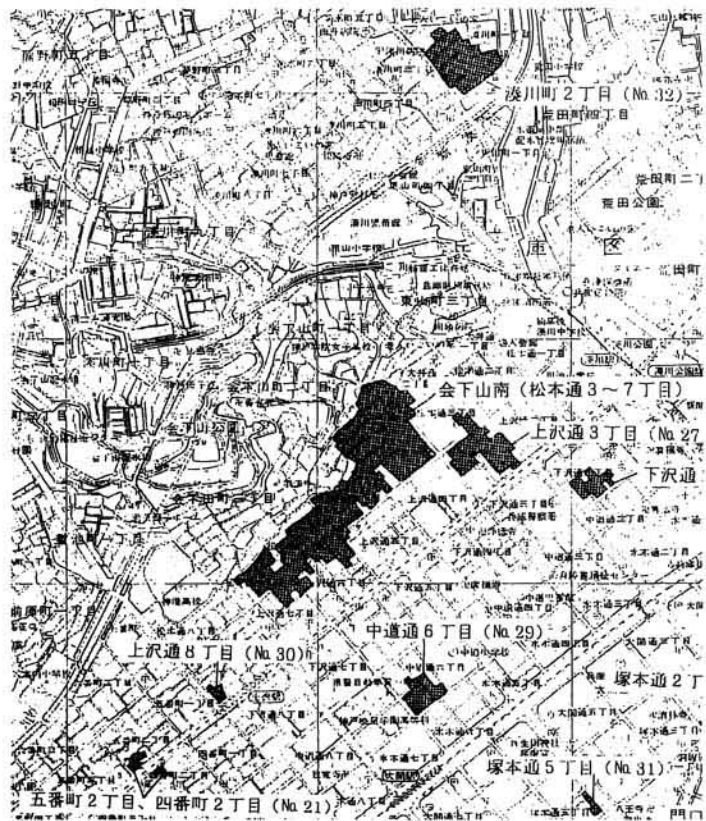


図-3.3.2.3 兵庫区の主たる火災の延焼範囲



図-3.3.2.4 難区の主たる火災の延焼範囲

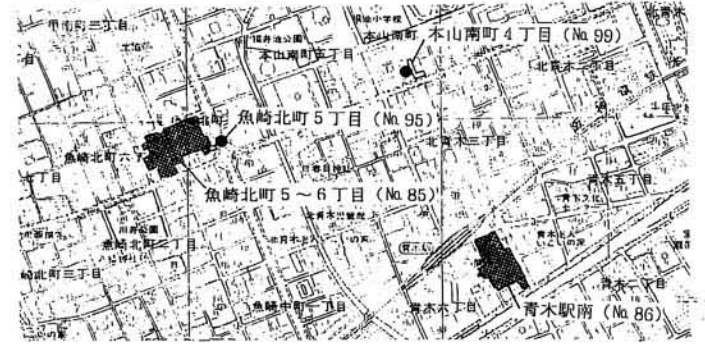


図-3.3.2.5 東灘区の主たる火災の延焼範囲

3. 3. 3 延焼規模と市街地構造

延焼性状に影響を及ぼす市街地構造と延焼規模の関係を検討するため、平成5年の住宅統計調査を用いて市區別に、①木造・防火木造率（建築面積ベース：以下、木防率）、②木造・防火造住宅の建ぺい率（平均建築面積と平均敷地面積から換算、以下、木防建ぺい率）、を求めさらに、③（木防率×木防建ぺい率）の値、及び④木造・防火造住宅地の平均隣棟間隔（正方形でモデル化）、を計算し表-3.3.3.1に示した。

これをみるとマクロ的な分析にとどまるものの、（木防率×木防建ぺい率）の値と延焼規模との間にはある程度の相関関係が見受けられ、潜在的延焼危険の高い地域で大規模火災を含む集団的な火災が現実には発生した傾向にあるといえよう。

しかし、上述の指摘については、各地域の木造建築物等の倒壊の状況や防火造建築物の分布やモルタルの剥落の程度、さらには出火点密度や風等の気象条件、消防活動状況等の要因も大きく影響するので今後の検討を待つ点が大きい。

表-3.3.3.1 市區別の火災区域の延焼規模別・単体火災構造別割合と市街地構造指標の関係

	大規模 区域数 33,000㎡ 以上	集 団 区域数 1,000~ 33,000㎡	集 団 区域数 1,000㎡ 未満	単体火災 (木防) の区域数	小計	単体火災 (耐火的) の区域数	合計	木防率 (%)	木防建 ぺい率 (%)	木防率 × 木防建 ぺい率	平均 隣棟 間隔 (m)
須磨区	(0.0)	4(44.4)	3(33.3)	2(22.2)	9	1(10.0)	10	63.1	44.6	0.281	4.2
長田区	4(33.3)	7(58.3)	1(8.3)	(0.0)	12	2(14.3)	14	67.6	62.0	0.419	2.3
兵庫区	1(7.7)	7(53.8)	5(38.5)	(0.0)	13	(0.0)	13	62.5	62.8	0.393	2.1
中央区	(0.0)	3(25.0)	4(33.3)	5(41.6)	12	13(52.0)	25	40.3	63.5	0.256	2.0
灘区	(0.0)	7(53.8)	5(38.5)	1(7.7)	13	4(23.5)	17	63.3	53.1	0.336	3.1
東灘区	(0.0)	7(46.7)	3(20.0)	5(33.3)	15	6(28.6)	21	45.6	45.4	0.207	4.2
芦屋市	(0.0)	(0.0)	3(37.5)	5(62.5)	8	5(38.5)	13	24.5	39.8	0.098	5.4
西宮市	(0.0)	1(4.2)	8(33.3)	15(62.5)	24	6(20.0)	30	58.3	43.0	0.251	4.5

須磨区と長田区にまたがる火災区域及び尼崎・明石市は周辺であり地震の影響の少ない地域もあったため分析から除く。左右で同じ字体のセルは関連がみられる。

3. 3. 4 市街地火災の延焼状況

ここでは、市街地火災の地域での焼け跡調査によって得られた知見及び映像資料より、延焼状況と延焼阻止要素について整理した。図-3.3.4.1には約10.6haと最大焼失面積となった水笠西公園周辺の火災についての延焼状況を例示する。

(1) 木造家屋・低層の工場等の燃焼・延焼性状

焼け跡の状況を観察すると、裸木造、防火木造の判別が不能なくらい木材はほとんど焼き尽くされ、残土と瓦或いはトタン等の金属類が目立った箇所が多かった。これは消火活動が困難で注水が少なかったこともあるが、長田区などではゴムやケミカルシューズなどの工場が多く立地し燃焼性の高い原材料があったため激しい燃焼となったものと考えられる。（これは耐火建築物等にもあてはまる。）また、ガス管から長時間にわたり炎が吹き出して燃焼力を高めていたとの証言もある（火災学会現地調査）。燃焼し尽くした低層の家屋に隣接した中・高層の建築物の外壁の焼損状況から判断すると、市街地火災の強い火熱が5～6階程度まで及んだと見られる事例があった。

一方、地震動で倒壊した家屋はその軒高が低くなることから延焼着火しにくくなり、また延焼したとしても燃焼が緩慢で炎が大きくなり隣接する建物に延焼しなかった例がある。ただし地震で道路に倒れこんでいた場合には、倒れた建物に延焼すると向かいの街区への延焼経路となったとの証言がある（参考文献3）。

延焼範囲内の周辺部では倒壊した木造家屋がその上部を焦がしているだけの箇所もあった。周辺部では、地震による倒壊、風向きの影響や消火や破壊などの延焼阻止活動によって隣棟への延焼がそこでストップしたものと考えられる。また、圧壊した木造家屋等は、こうした延焼遅延の効果が見られる一方で、防火被覆が落下するため木部が漏出し、飛び火による着火が容易になり、結果として街区間の延焼拡大の原因となった点もあるものとみられる。

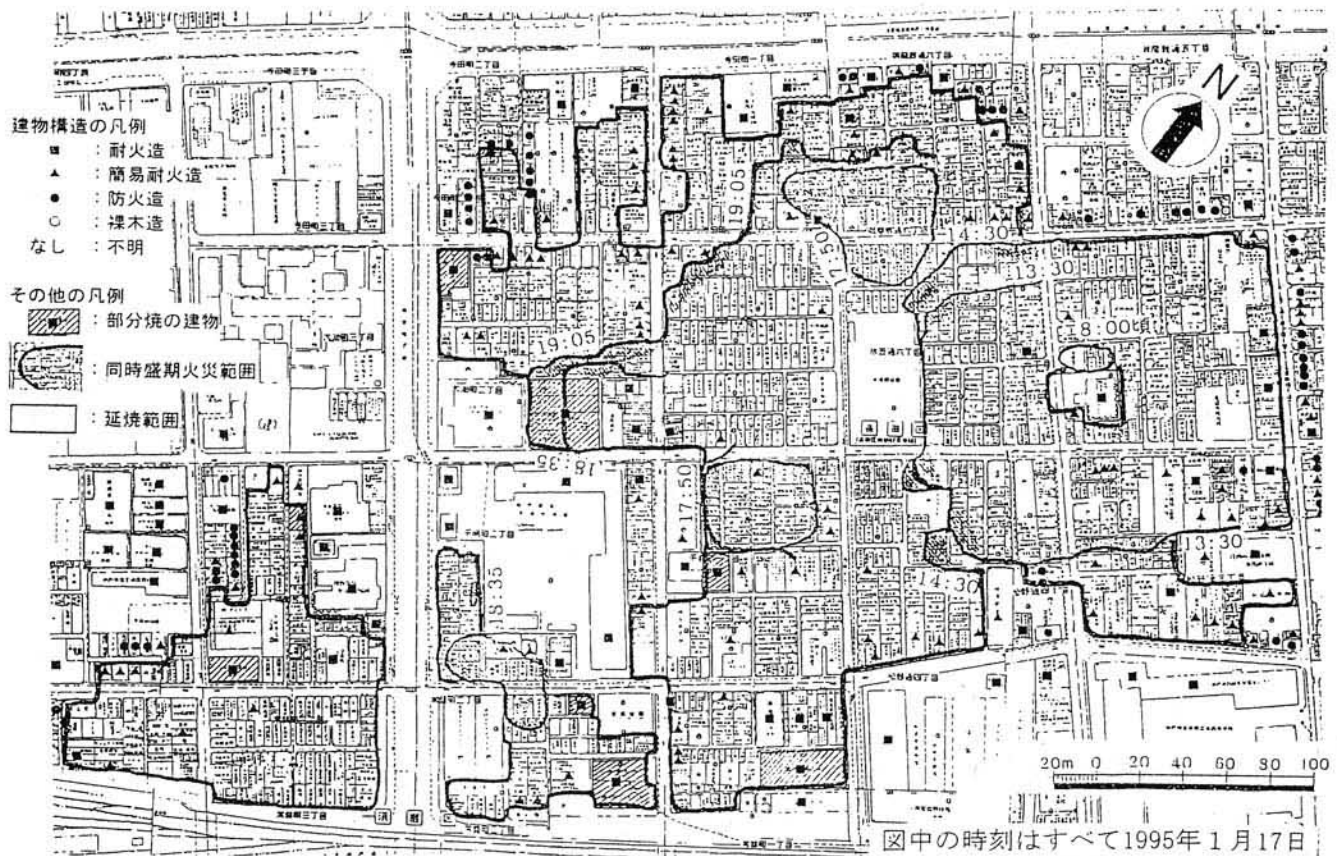


図-3.3.4.1 水笠西公園周辺火災の焼け止まり近傍の建物構造の状況と延焼動態

(2) 防火木造の燃焼・延焼性状

防火木造の燃え方として、1階及び2階の一部の開口部では屋内へ給気、2階の開口部及び燃えぬけた屋根から火炎が噴出、壁は燃えていないという例が燃焼中の写真に多くみられた。このような燃え方の延長で防火木造の家屋ではその外壁を残存させているものが延焼範囲内の周辺部にあり、隣棟への延焼を阻止する効果があったと考えられる。ただし、注水と相まって延焼阻止をした場合もあると考えられるので消火活動の有無を今後確認する必要がある。

建物同士が非常に密接して建って隣棟間隔がほとんど無い場合であっても、向き合う壁に開口部が存在しない場合には、その方向への延焼が阻止された事例が見られた。また金属製の雨戸や適切な隣棟間隔が、開口部からの火炎進入を阻止していた例もみられた。

(3) 準(旧簡易)耐火造の燃焼・延焼性状

準(旧簡易)耐火造は、外壁が剥落し骨組みだけが焼け跡に残されているものが目立った。これは、一般的には燃焼が激しかったために外壁が剥落したと考えられるが、延焼範囲外の地域にある準(旧簡易)耐火造の被災状況から判断すると、地震動によって外壁がすでに剥落して延焼を受けやすくなっていた場合もあると考えられる。

骨組みも倒壊した準(旧簡易)耐火造も見受けられたが、激しい燃焼で倒壊した場合と、延焼を受けるまでに地震動によって倒壊していた場合があると考えられる。

(4) 耐火建築物の燃焼・延焼性状

耐火造で火災の被害を受けたものが調査した範囲で465棟に達している。耐火造であっても、木造密集地に隣接して存在する場合には開口部が弱点となって市街地火災からの類焼を受けている。逆に市街地火災に対して開口部を持たない耐火建築物は類焼を免れている。中・高層の建築物においては1～2階が延焼していないのにも関わらず3階以上が延焼している例も見られた。

しかし、耐火造の場合に延焼しても内部の防火区画によって延焼を阻止して半焼とし、市街地火災の延焼を阻止した例も多数見られた。また、耐火造の内部全体に延焼した場合でも、外部に及ぼす影響は開口部からの噴出火炎のみであるので、十分な隣棟間隔がある場合には延焼を阻止していた。

(5) 延焼の速さ

水笠西公園周辺の火災地区について、図-3.3.4.1に撮影時刻の判明したビデオ映像による時刻別延焼範囲を併せて示す。最初の約5時間で約50m、次の約5時間で約100m延焼が拡大している。これは毎時10m～20mの速度であり、過去に見られた大火での延焼速度に比べると大幅に遅い。

航空写真で延焼直前の状況を見ると、最初の5時間の間に延焼した地区付近には倒壊していない防火木造が比較的多くみられる。一般的な防火木造の燃焼性状から、壁からの延焼ではなく開口部からの延焼が主であるとすると、開口部から室内に火が入って、フラッシュオーバーが起こり、盛期火災になって始めて開口部の噴出火炎によって隣棟へ延焼することになったと推定する。このことが、風が弱かったことと相まって延焼速度を遅くした原因と考えられる。なお、「この一帯は長屋で火が回りやすかった」、「この辺りはモルタル住宅で火の回りが遅かった」といった住民による証言もある(参考文献2、日吉2丁目地区)。裸木造の長屋で延焼速度が速く、防火木造のモルタル住宅で延焼速度が遅かったということである。

図-3.3.4.1に示すように同時盛期火災範囲が広い区域に拡大した時期(17:50)があり、局所的に延焼速度が速くなったことを示しているが、この区域は長屋率、戦前住宅率が高く、裸木造の建築物が多く立地している区域であったと考えられる。

(6) 延焼阻止要因

市街地火災の焼け止まり線は、広い幅員の道路、鉄道線路、公園などの大規模な空地、列状

の耐火造の建築物群や広い敷地に立地する学校・マンションなどの耐火建築物が中心となって構成されている。

しかし、市街地火災との間にポケットパークや駐車場のような小規模な空地と隣接する耐火造や準（旧簡易）耐火造など、周囲の耐火性の高い建築物との組み合わせで有効に延焼が阻止され焼け止まった事例も多く見受けられた。

また、幅員のそれほど広くない道路（図-3.3.4.1では6～8 m道路）であっても沿道の耐火造等や消火活動とを組み合わせ延焼を阻止したと考えられる箇所もあった。このようなケースは延焼区域の東側に比較的多くみられ、風の方向により延焼方向が西向きであったことが影響していると考えられる。また、局所的には風向きの火災側への変化によって延焼がとどまった例も見られた。

図-3.3.4.2に図-3.3.4.1の水笠西公園周辺火災の地区についての延焼阻止要素（消火活動は未評価）の構成比を示す。

また、図-3.3.4.3に延焼規模が1,000㎡以上の区域44ヶ所についての焼失区域、建物構造の状況を示す。

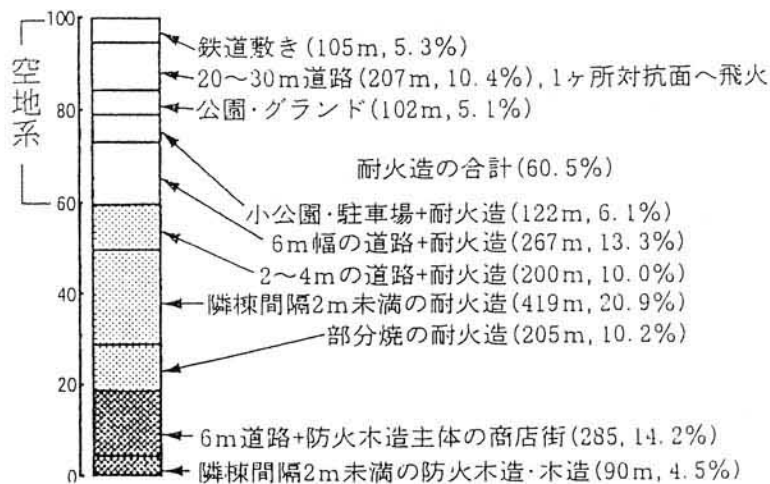
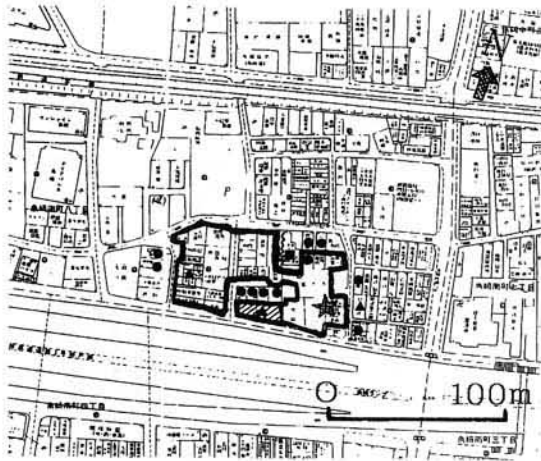
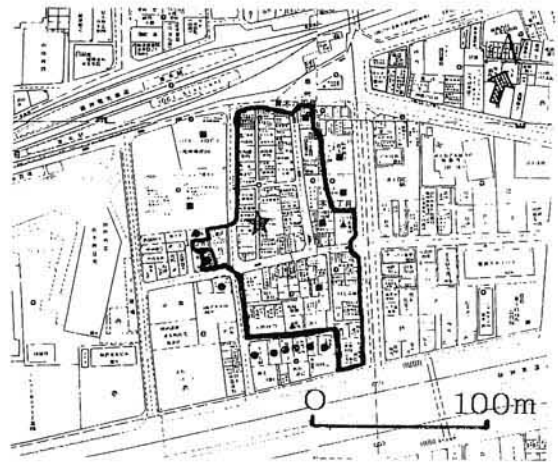


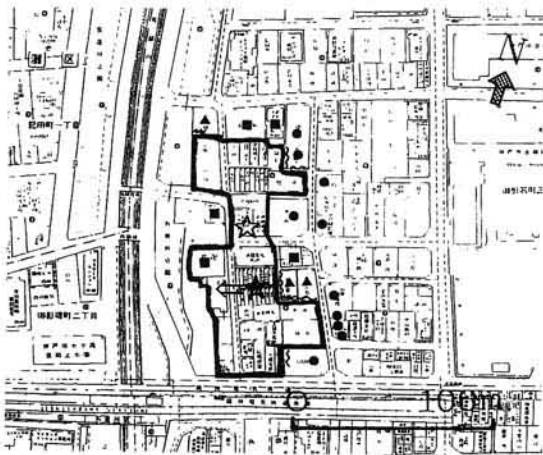
図-3.3.4.2 延焼阻止要素の構成比（水笠西公園周辺、図-3.3.4.1の右側のみ集計）



(1) 魚崎南町8丁目(東灘区)
[地震直後出火、3,177 m²]



(2) 青木駅南(東灘区)
[地震直後出火、6,991 m²]



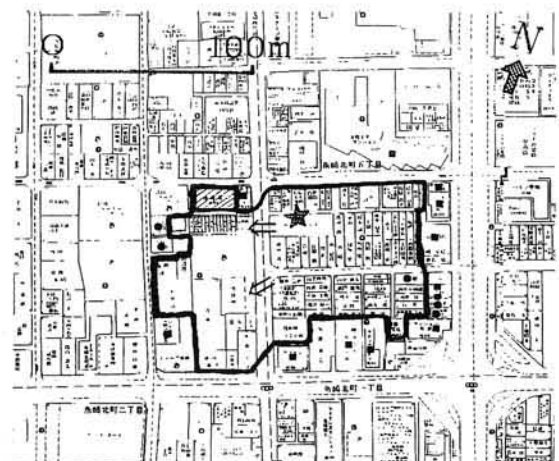
(3) 御影石町3丁目(東灘区)
[地震直後出火、5,027 m²]



(4) 本庄町1丁目(東灘区)
[地震直後出火、1,673 m²]



(5) 住吉本町2丁目(東灘区)
[17日9時頃出火、1,200 m²]

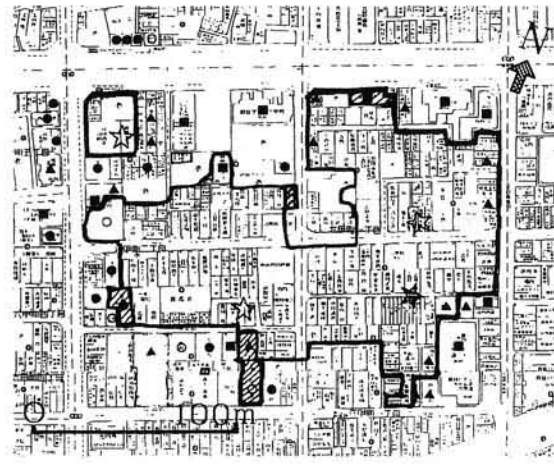


(6) 魚崎北町5・6丁目(東灘区)
[17日14時半頃出火、10,388 m²]

図-3.4.4.3 焼失区域別の出火点及び焼け止まり近傍の建物構造の状況¹⁾
(出火点、出火時刻は住民への聞き取り調査²⁾による概略値である。)



(7) 本山中町2丁目(東灘区)
[17日7時頃出火、1,765 m²]



(8) 六甲町1・2丁目(灘区)
[地震直後出火、19,940 m²]



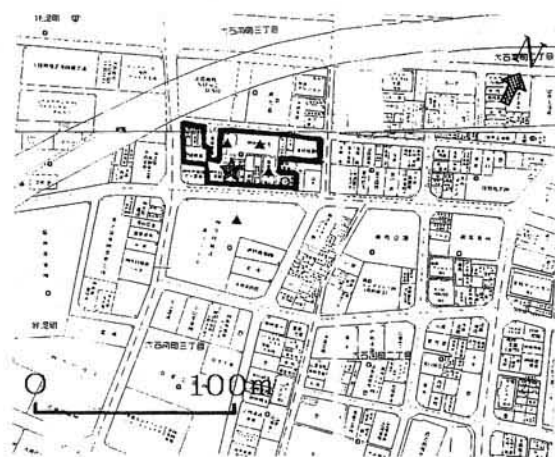
(9) 琵琶町1丁目(灘区)
[地震直後出火、6,932 m²]



(10) 中郷町4丁目(灘区)
[地震直後出火、2,700 m²]

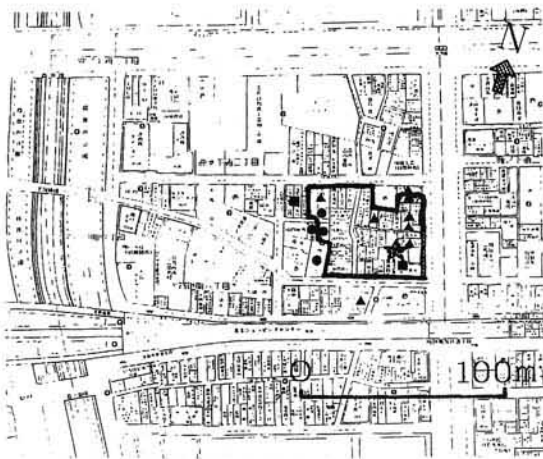


(11) 新在家北町2丁目(灘区)
[地震直後出火、1,904 m²]

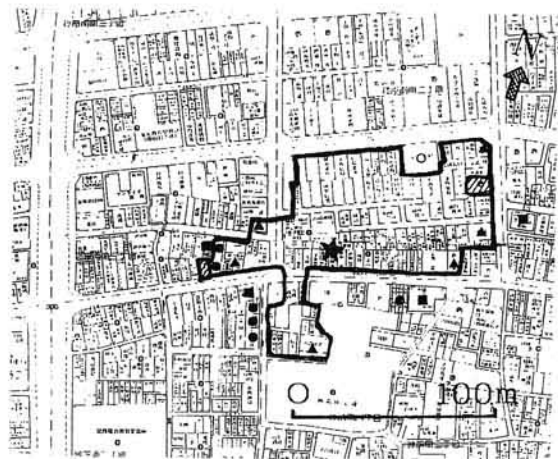


(12) 大石南町3丁目(灘区)
[地震直後出火、1,672 m²]

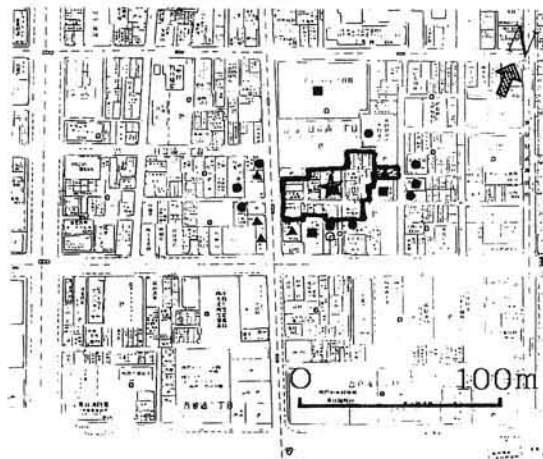
図-3.4.4.3(続き) 焼失区域別の出火点及び焼け止まり近傍の建物構造の状況¹⁾
(出火点、出火時刻は住民への聞き取り調査²⁾による概略値である。)



(13) 鹿の下通3丁目(灘区)
[直後~9時頃出火、2,398 m²]



(14) 神前住宅北(灘区)
[17日7時半~10時頃出火、8,367 m²]



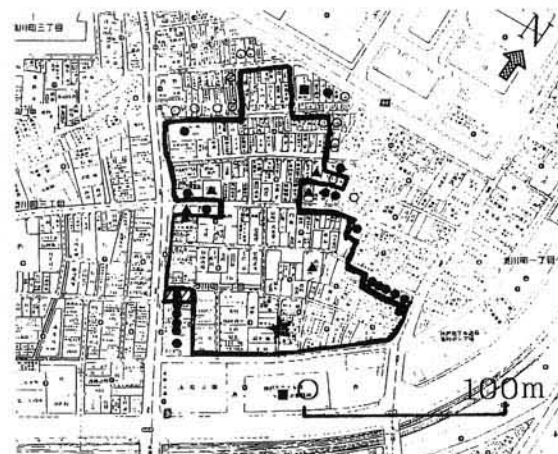
(15) 日暮通1丁目(中央区)
[地震直後出火、1,252 m²]



(16) 宮本通5丁目(中央区)
[地震直後出火、1,190 m²]

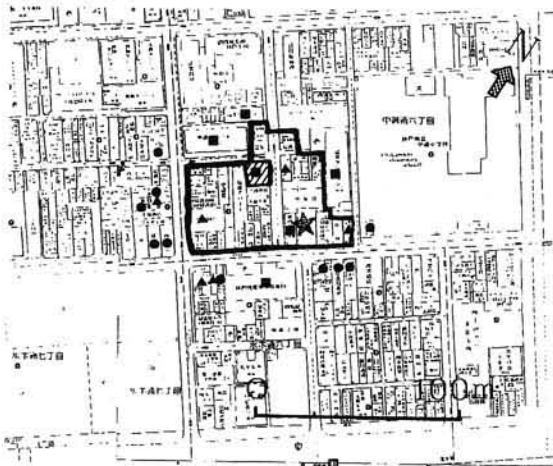


(17) 大日通6丁目(中央区)
[18日1時45分頃出火、1,012 m²]

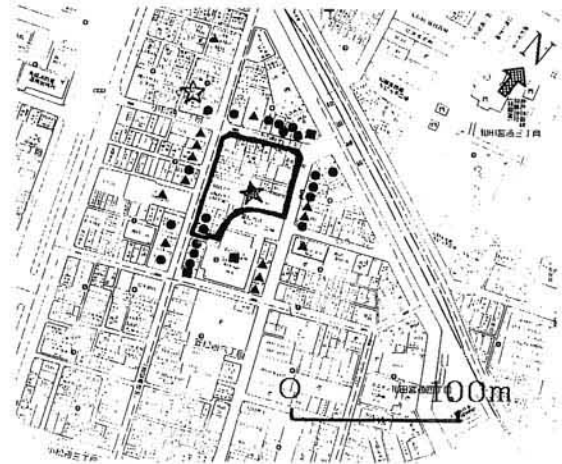


(18) 湊川町2丁目(兵庫区)
[地震直後出火、12,077 m²]

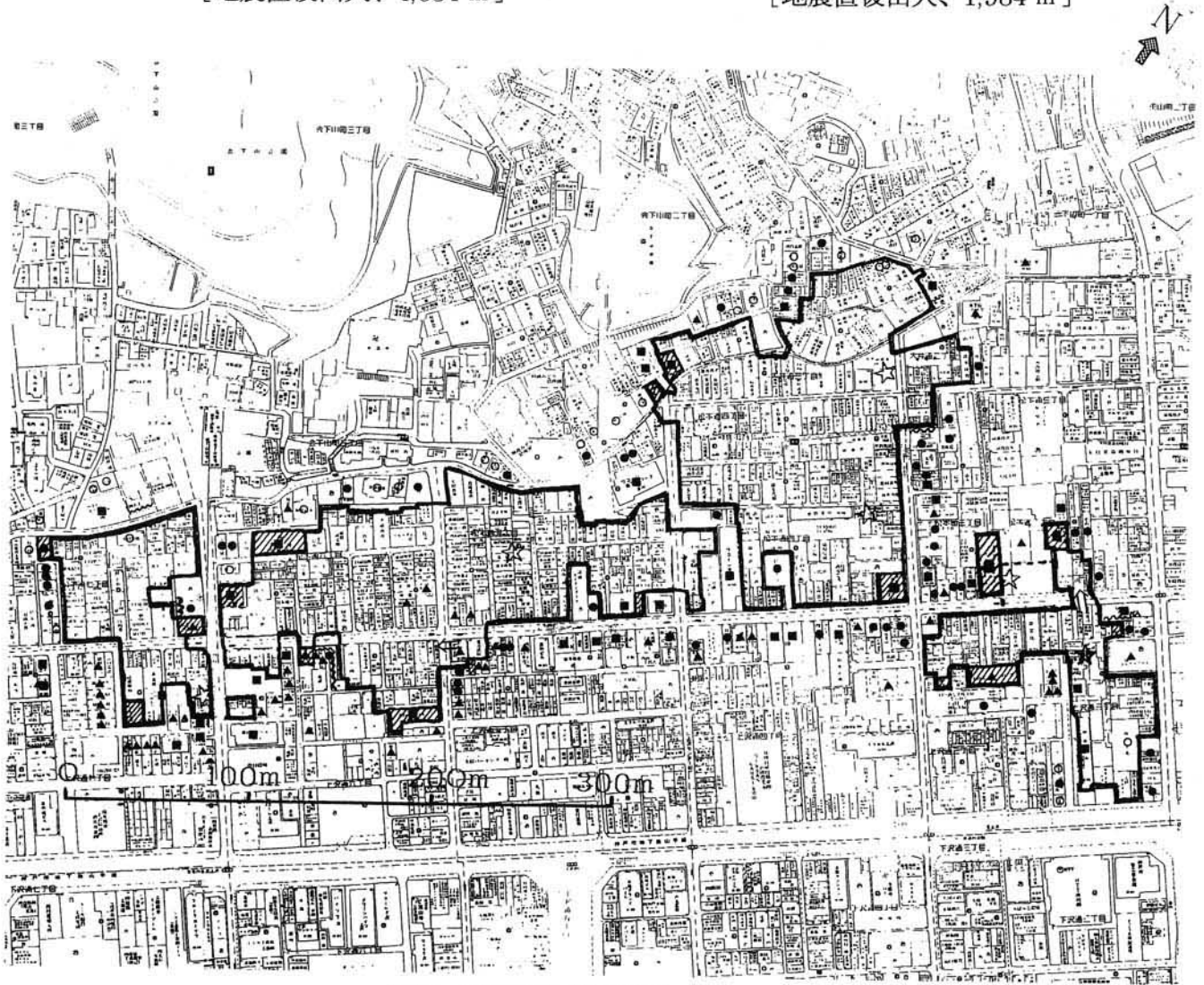
図-3.4.4.3(続き) 焼失区域別の出火点及び焼け止まり近傍の建物構造の状況¹⁾
(出火点、出火時刻は住民への聞き取り調査²⁾による概略値である。)



(19) 中道通6丁目(兵庫区)
[地震直後出火、4,034 m²]

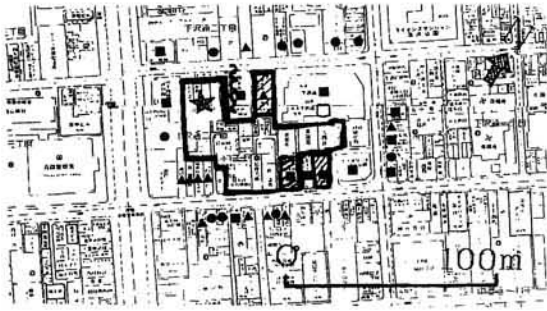


(20) 笠松通5丁目(兵庫区)
[地震直後出火、1,984 m²]



(21) 会下山南(兵庫区)
[地震直後出火、61,337 m²]

図-3.4.4.3(続き) 焼失区域別の出火点及び焼け止まり近傍の建物構造の状況¹⁾
(出火点、出火時刻は住民への聞き取り調査²⁾による概略値である。)



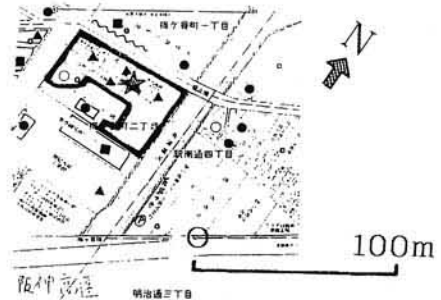
(22) 下沢通 2 丁目 (兵庫区)
[17 日 7 時頃出火、3,096 m²]



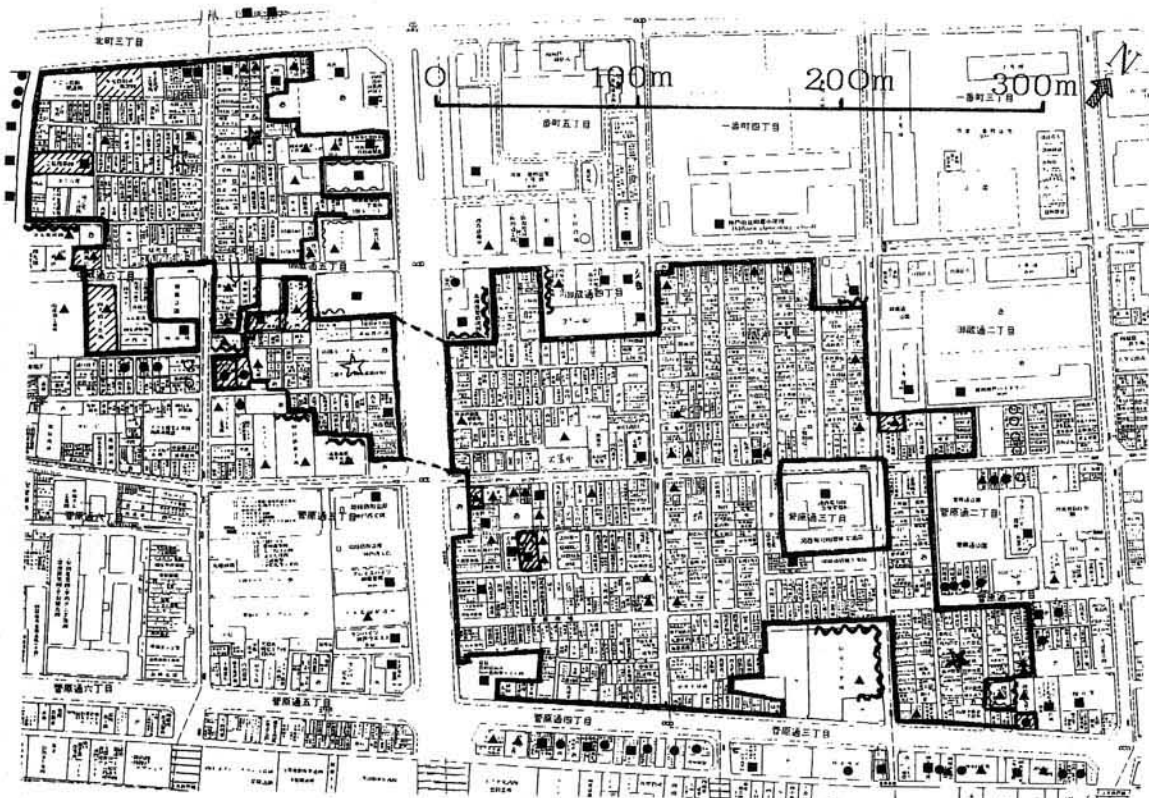
(23) 上沢通 8 丁目 (兵庫区)
[17 日 昼頃出火、1,154 m²]



(24) 湊町 1 丁目 (兵庫区)
[18 日 9 時 20 分～10 時頃出火、1,645 m²]



(25) 梅ヶ香町 2 丁目 (長田区)
[地震直後出火、1,891 m²]



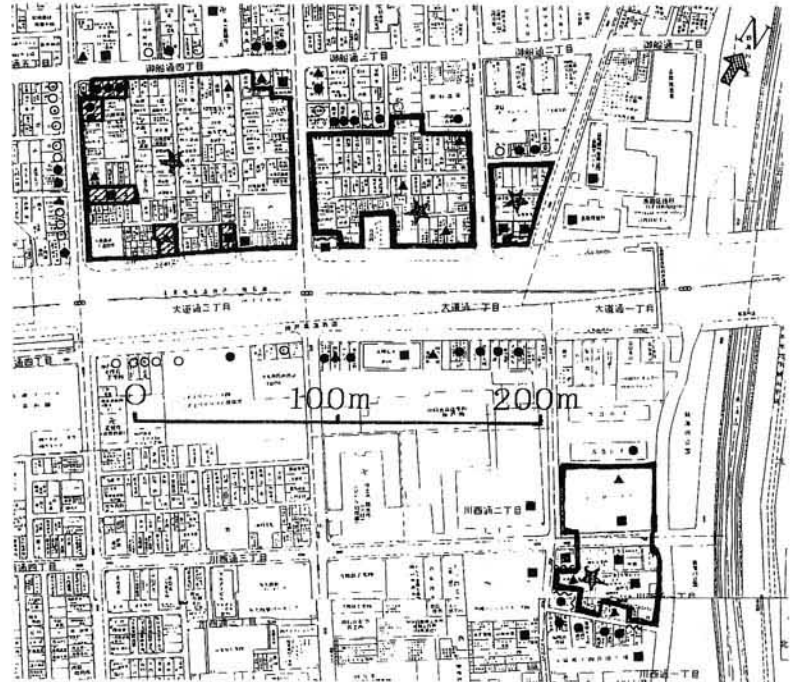
(27) 御蔵通 5・6 丁目 (長田区)
[地震直後出火、22,397 m²]

(26) 菅原変電所周辺 (長田区)
[地震直後出火、54,900 m²]

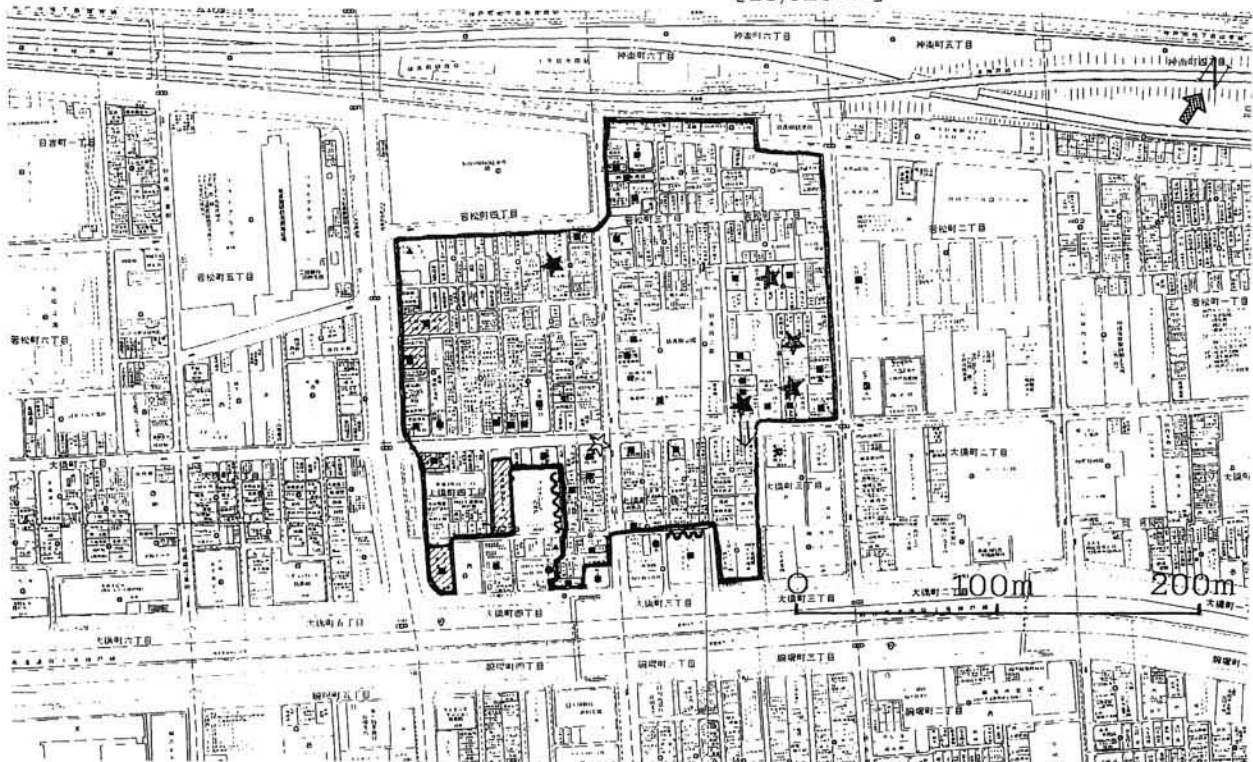
図-3.4.4.3 (続き) 焼失区域別の出火点及び焼け止まり近傍の建物構造の状況¹⁾
(出火点、出火時刻は住民への聞き取り調査²⁾による概略値である。)



(30) 東尻池町7丁目(長田区)
[地震直後出火、3,344 m²]

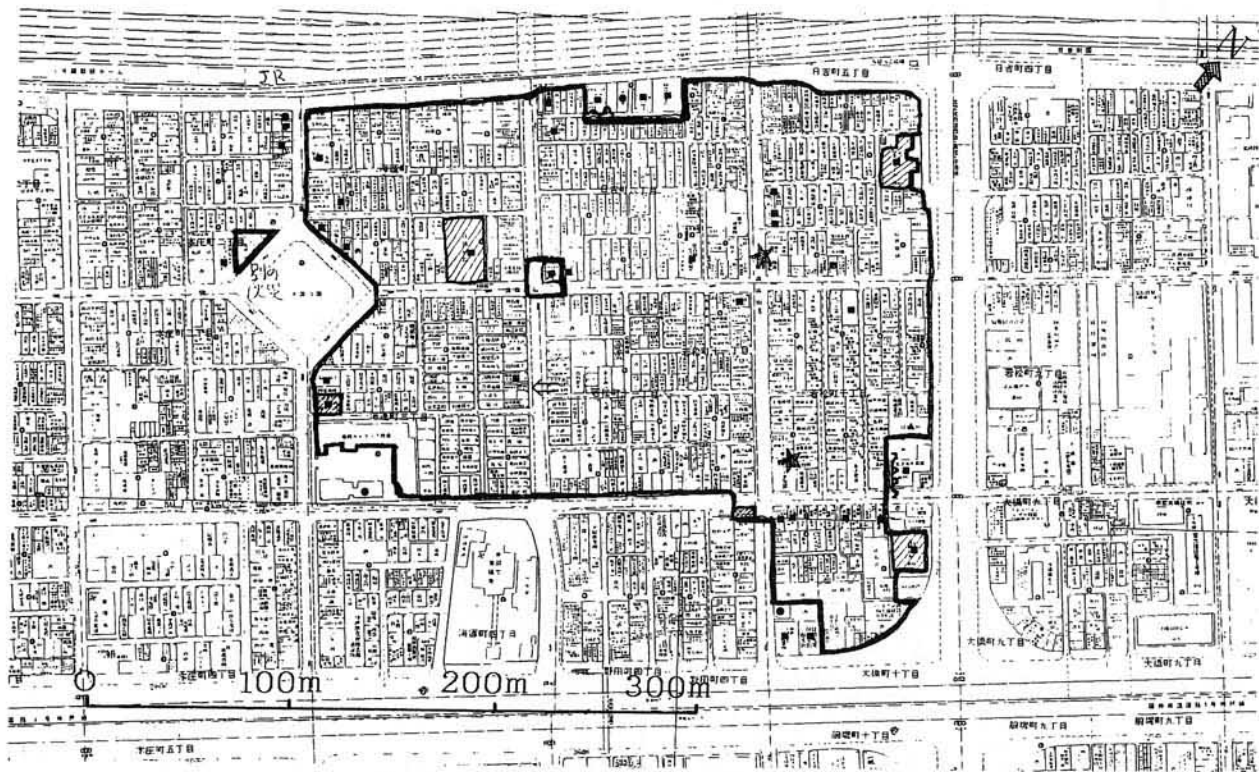


(29) 御船通2・3・4丁目(長田区) (28) 川西通1丁目(長田区)
[2丁目 地震直後出火] [地震直後出火、3,630 m²]
[3丁目 7~8時頃出火]
[4丁目 17日昼過ぎ出火]
[16,020 m²]

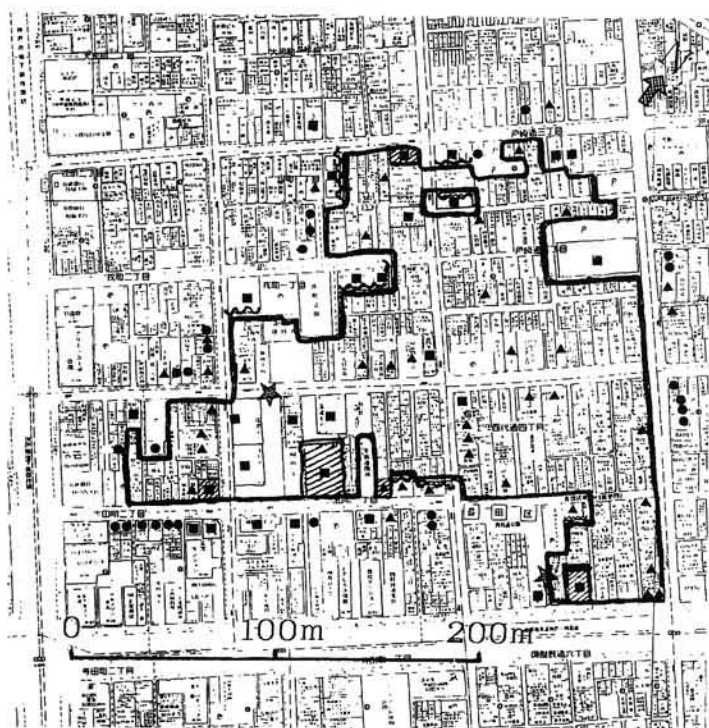


(31) 新長田駅南(長田区)
[地震直後出火、39,570 m²]

図-3.4.4.3(続き) 焼失区域別の出火点及び焼け止まり近傍の建物構造の状況¹⁾
(出火点、出火時刻は住民への聞き取り調査²⁾による概略値である。)



(32) 高橋病院周辺 (長田区)
[地震直後出火、68,850 m²]

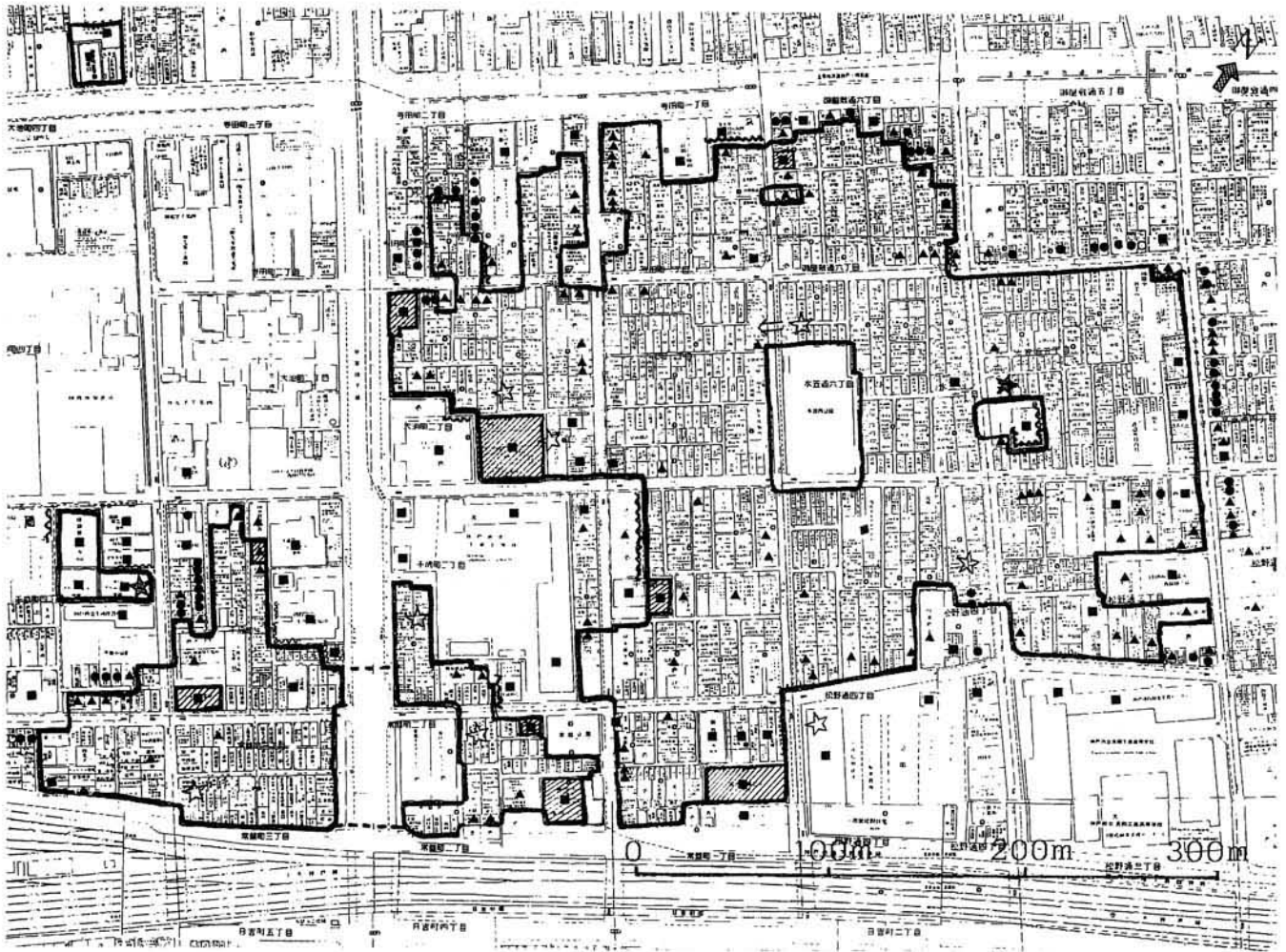


(33) 西代市場周辺 (長田区・須磨区)
[地震直後出火、34,407 m²]



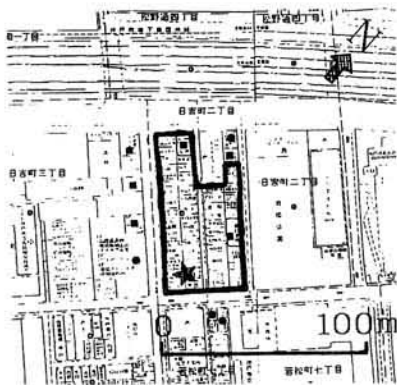
(34) 神戸デパート南 (長田区)
[17日7時頃出火、53,100 m²]

図-3.4.4.3 (続き) 焼失区域別の出火点及び焼け止まり近傍の建物構造の状況¹⁾
(出火点、出火時刻は住民への聞き取り調査²⁾による概略値である。)



(42) 千歳4丁目(須磨区)
[18日11時頃出火、1,592㎡]

(35) 水笠西公園周辺(長田区・須磨区)
[17日7~9時頃出火、121,783㎡]



(36) 日吉町2丁目(長田区)
[17日7~10時頃出火、3,072㎡]

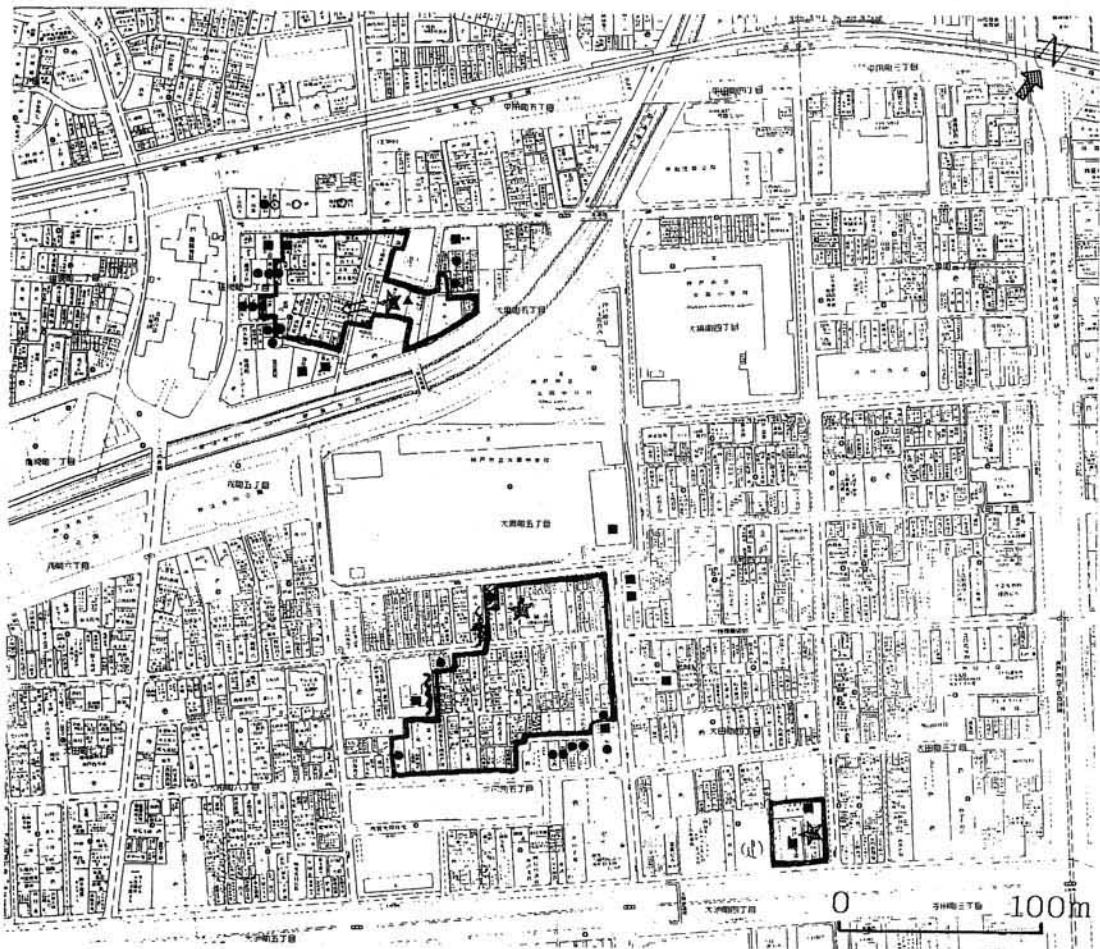


(37) 細田町4丁目(長田区)
[17日11時頃出火、4,063㎡]

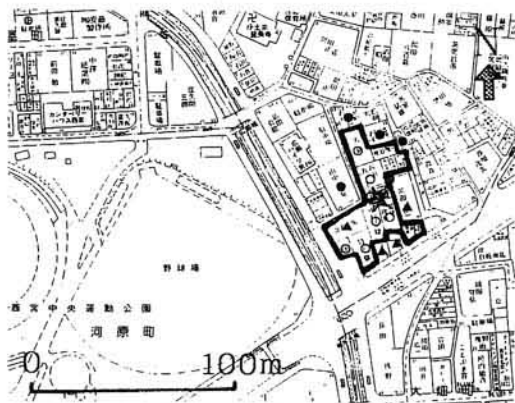


(38) 五番町2丁目(長田区)
[19日5時半頃出火、1,600㎡]

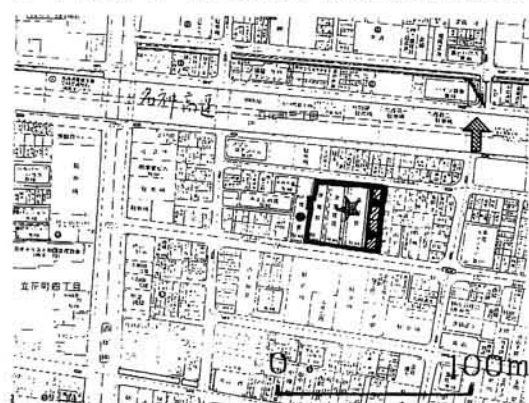
図-3.4.4.3(続き) 焼失区域別の出火点及び焼け止まり近傍の建物構造の状況¹⁾
(出火点、出火時刻は住民への聞き取り調査²⁾による概略値である。)



(40) 太田中学校北 (須磨区) [地震直後出火、4,557 m²] (41) 太田中学校南 (須磨区) [17日6時半~7時頃出火、7,929 m²] (39) 大田町4丁目 (須磨区) [地震直後出火、1,050 m²]



(43) 広田町 (西宮市) [地震直後出火、1,588 m²]



(44) 立花町3丁目 (尼崎市) [17日6~7時頃出火、1,175 m²]

建物構造の凡例

- : 耐火造
- ▲ : 簡易耐火造
- : 防火造
- : 裸木造

出火に関する凡例

- ★ : 出火点 (概略の位置)

延焼に関する凡例

- ☆ : 飛び火
- ← : 焼失家屋の道路側への倒壊による延焼

延焼阻止に関する凡例

- : 焼け止り線
- ▨ : 部分焼
- 〰 : 外壁の焼毀

図-3.4.4.3 (続き) 焼失区域別の出火点及び焼け止まり近傍の建物構造の状況¹⁾
(出火点、出火時刻は住民への聞き取り調査²⁾による概略値である。)

3. 3. 5 まとめ

本稿では、兵庫県南部地震における火災の被害から市街地火災の延焼のメカニズムを考察した。延焼速度がこれまでに比べて遅かったのは、延焼速度の基本的な決定要因である風が比較的弱かったことの影響が最も大きいのではないかと考えられるが、前節までで示したように現代都市の建築物の構造や市街地構成による影響もあると考えられる。

今後の大震災時の市街地火災の防止対策（建物レベル，街区内レベル，街区間レベル）を考慮する際には、さらに、道路幅員や空地の規模、耐火建築物や準（旧簡易）耐火建築物の規模・配置・被災状況と焼け止まりの関係など、物理的な焼け止まり要因の定量的な分析を実施するとともに、消防活動などの人的要因を考慮していく必要がある。また、延焼動態の解明とともに市街地構造（木造率、建ぺい率等）との関係を明らかにし、①建築物の倒壊、②防火被覆の剥落・防火戸の損傷、③火の粉の飛散による延焼助長といった要因が及ぼす影響について、詳細に実態をまとめ、更に風があった場合の影響について物理的に検討する必要がある。

3. 3. 6 今後の対策

建物レベルの防火関係の対策として考えると、まず、今回のような地震の際に、構造体がどのような状況になるかを想定し、開口部、防火被覆の破壊がどの程度と想定すべきかを検討することが必要である。

こうした考え方に沿って、開口部、防火被覆の耐震性向上のための設計、施工、維持管理の改善方法の検討が必要である。

[参考文献]

1. 建設省建築研究所、平成7年兵庫県南部地震被害調査報告（速報）、平成7年2月。
2. 神戸大学工学部建設学科室崎研究室・(株)地域環境防災研究所、阪神・淡路大震災時の火災の延焼状況調査報告書、平成7年3月28日。
3. 高見裕一、阪神・淡路大震災 官災・民災この国の責任、ほんの木、p. 225、1995年4月22日。

[注]

本調査では、調査の性格上外観等から構造を判断せざるを得ないため、鉄筋コンクリート造等の建築物を「耐火造」、鉄骨造等の建築物を「準（旧簡易）耐火造」木造で外壁がモルタル塗等の建築物を「防火木造」とみなしている。

4 今後の検討課題

今回の阪神・淡路大震災では、死者・行方不明者が5,500人余、負傷者41,500人余、建築物の被害総数約40万棟という未曾有の大被害が発生した。

本委員会では、この地震による被害の実態把握と原因究明、今後の対策を検討するため、2月2日より調査を行ってきたところであるが、3月28日にそれまでの調査結果を経過報告として取りまとめ、その中で次の「応急的対応に対する提言」を行った。

- (1)古い建築についての被害程度が大きいことにかんがみ、既存建築物の耐震診断、及びその結果、耐震性が著しく劣ると判断された建築物の耐震補強を全国的な課題として推進すべきである。
- (2)新しい建築物の被害状況からは、新耐震設計法はおおむね妥当と思われるが、今回の被害にかんがみ、建築物の特定の階や平面計画において弱点が生じないようにバランスを考慮し、かつ余裕のある設計を心がけると同時に、丁寧な施工及び綿密な検査を励行すべきである。

この提言のうち、(1)については3月29日付けで建設省より都道府県あて「既存建築物の耐震性の向上の促進及び被災建築物の応急危険度判定の整備について」通達が出され、既存建築物の耐震改修の促進が図られることとなった。

また、(2)についても5月31日付けで特定行政庁あて「建築物の構造耐力上の安全確保に係わる措置について」通知され、

- ①木造建築物の土台、筋かい、柱、はり等の継手、仕口等の適切な緊結方法の徹底
- ②鋼材及び溶接部等の品質確保
- ③鉄筋コンクリート造の主筋、帯筋の適切な緊結方法、コンクリート及び圧接部の品質確保
- ④適切な構造計算の徹底

等について指導されることとなった。

本委員会では、その後も引き続き詳細な調査・検討を行い、その結果は本報告書の通りとりまとめたところであるが、この結果から次のような実態が明らかになった。

- (7) 兵庫県南部地震における地震動については、大振幅の加速度及び速度が広い地域で観測されたこと、周期約0.8~2.0秒の成分が大きいこと、大きな上下動記録が観測されたこと、実行継続時間が短いこと、方向性が強いこと、軟弱地盤表層での上下動の増幅が大きいこと、といった特徴が見られる。
- (イ) 現行の耐震設計基準（昭和56年6月施行）以前に建築された建築物について、例えば、最も被害が集中した地区の一つである三宮駅の周辺地域では、約3割の建築物が倒壊、大

破という甚大な被害を受けており、全国の他の地域においても、今回のような規模の地震が発生した場合、同様の大地震の発生が懸念される。特に、木造住宅では、耐力壁の不足、不適切な施工、腐朽、蟻害等により耐震性が不足し、一瞬のうちに倒壊したもの、鉄筋コンクリート造では中間階やピロティ部分が層崩壊し押しつぶされたもの、鉄骨造では溶接部の不適切な施工による破断のため倒壊したもの等、人命安全の上で極めて危惧される被害が生じていることから、既存建築物の耐震改修、建替え等を早急に推進することが喫緊の課題である。

- (ウ) 概ね健全であった現行の耐震設計基準による建築物についても、ピロティ形式の建築物でのピロティ部分の破壊、鉄骨造建築物の溶接部、溶接部近傍あるいは柱脚部の破断、木造住宅の倒壊等が生じているが、これらは、不適切な設計・施工が行われた結果生じたものやバランスを考えた設計がおこなわれなかった結果生じたものが多いと考えられる。したがって、最低基準としての現行の耐震設計基準の水準はほぼ妥当なものであり、抜本的な改正は必要ないと考えられるが、ピロティ形式の建築物等の剛性や強度のバランスが悪い建築物や壁の配置のバランスの悪い木造建築物、鉄骨造建築物の柱脚部等の余裕のある設計が行われていなかった部分について、適切な対応を検討するとともに、鉄骨の溶接工事、鉄筋コンクリート工事、木造の接合部の工事等における不適切な施工を無くすための施工段階での品質管理及び検査の徹底が極めて重要である。

一方、一部の鉄骨造建築物で鋼材の脆性的破断が見られた。その原因についてはいろいろな可能性が考えられるが、まだ十分検証されていない。

- (エ) 今回の地震は午前5時46分頃とまだ日常活動が本格化するまえの早朝に発生したことから、5,500名余の死者の大半は戸建住宅又は共同住宅の中で死亡したものであり、60歳以上の高齢者が半数以上を占めている。また、死者の約9割が建築物の倒壊等による圧迫死や窒息死によるものである。特に古い木造住宅が密集した地域（神戸市長田区、灘区、東灘区、西宮市、芦屋市の一部等）では多くの死者が生じ、また、地震後に火災が発生し、水道の断水、細かい街路と建築物の倒壊が、救助、消防活動の障害となったこと等の要因で、大きな市街地火災となり、多くの人命被害とともに、建築物の被害も大きなものとなった。したがって、古い住宅については耐震改修を積極的に推進するとともに、古い木造住宅が密集した地域では、計画的な市街地整備や建替えを促進する必要がある。
- (オ) 住宅以外の建築物でも倒壊、大破等の大きな被害が生じていることから、仮に地震が生活時間帯に発生していたとすれば、事務所、店舗、飲食店、集会施設等の一般建築物でも大きな人的被害が発生していたものと考えられる。これら多数の人々が収容される建築物では倒壊等の被害が生じれば、一度に多くの人命が失われることとなるため、古い一般建築物についても、早急に耐震改修を促進する必要がある。
- (カ) 救援・復旧活動の拠点となる施設である病院、公共的施設等でも大きな被害が生じており、地震後の医療活動、復旧活動等に大きな障害となった。したがって、これらの防災上重要な拠点となる施設については、地震後でも建築物の機能が失われないよう、一般の建築物よりも余裕を持たせて建築又は改修することが必要である。

以上のような実態分析を踏まえて、次の課題について今後更に検討を加え必要な対策を講じる必要がある。

1. 既存建築物の耐震診断・改修の更なる促進のための制度、体制の整備

既存建築物の耐震診断・改修の促進については、既に本委員会の経過報告を受け、その促進が図られているところであるが、診断や改修に対する助成措置が不十分であること、相談窓口や診断、改修に関する技術的支援の体制が未整備であること、さらには診断、改修を進めるための制度的枠組みが用意されていないこと等、今後検討すべき課題が残されており、これらの点について早急に検討し、既存建築物の耐震診断・改修の促進のための制度・体制の整備を図る必要がある。また、この場合、地震後の救助、復旧活動の拠点となる病院、公共的施設等及び多数の人々を収容する施設等については、耐震性能に余裕を持たせることが望ましい。

2. 建築物の耐震安全性確保の促進

現行の耐震設計基準に基づいて建築された建築物の被害の実態を勘案して、現行耐震設計基準及びその運用について、早急に次の事項について検討する必要がある。

(1)鉄筋コンクリート造

- ・ピロティ形式の建築物等の剛性、強度のバランスの悪い建築物については、地震力に対する強度及びじん性不足からピロティ部分が崩壊する等かなりの被害が生じていることから、必要な強度及びじん性の割増しを行う必要がある。このため、次のような点に配慮した耐震設計法を検討する。
 - 振動性状
 - 軸力とモーメントの相互作用
 - 上階の耐力壁及び2次壁の剛性の影響
 - 変形角の増大に伴うモーメントの増加等

(2)鉄骨鉄筋コンクリート造

- ・今回の地震では鉄骨柱脚部の破壊による被害が大きかったことから、柱脚部の引き抜け、破断等を防止するため、大規模な地震時においても強度、じん性が失われないような設計法を検討する必要がある。

(3)鉄骨造

- ・鉄骨鉄筋コンクリート造と同様に、柱脚部の破断、引き抜け等を防止するための柱脚部の設計法を検討する必要がある。
- ・角形鋼管柱とH形鋼梁による架構では、溶接の不良による破断が多いことから、溶接の品質確保のための、品質管理、検査方法・体制等の検討を行うとともに、柱の鋼管の溶接部を減らすための構法（外ダイアフラム（溶接部の剛性を高めるための薄板）の採用等による柱通し形式の柱梁接合部）の普及を図る必要がある。
- ・一部の鉄骨造建築物で見られた厚肉大断面鋼材の脆性的破断の原因としては、材料の靱性不足、溶接による残留応力、溶接部の材料変化等が指摘されているが、今後その原因

を究明し、その対策を検討する必要がある。

(4)木造

- ・壁の配置のバランスが悪い建築物で被害が大きかったことから、適切な壁の配置を実現するための設計法、大開口部の適切な補強方法を検討する必要がある。
- ・適切な継手、仕口の金物等による接合方法、木材の耐久性向上のための措置（防腐処理、床下換気、壁内結露防止等）の普及、徹底に努める必要がある。

(5)基礎構造

- ・現在、基礎の設計については鉛直支持力のみを確認することが義務づけられているが、今回の地震では杭頭の破壊等の被害が生じていることから、地震力に対する安全性を確保するための設計法を検討する必要がある。この場合、液状化や側方流動等の地盤変状、地盤改良、杭配置の影響等を十分考慮する必要がある。また、基礎の地震後の復旧技術の検討が必要である。
- ・地盤の液状化等による建築物の不同沈下、設備配管の破損等を防止するため、地盤改良の方法、木造住宅等の適切な基礎構造を検討する必要がある。
- ・擁壁、特にブロック擁壁（練積み、空積み）について耐震性の検討を行う必要がある。

(6)非構造部材

- ・非構造部材（外装材、開口部材等）の脱落、変形等による周辺への危害、防火安全性の低下、避難上の障害となること等を防止するため、構造体と非構造部材の被害の関連性を分析し、非構造部材の設計に当たって想定すべき層間変位、非構造部材の許容変形能力、施工方法等を検討する必要がある。

3. 地震動、地盤条件と建築物被害との関係分析

地盤条件の違いによる地震動の増幅等を検討し、今回の地震による各地域の地震動を推定するとともに、地震動と建築物への入力、建築物被害との関係を明らかにする必要がある。

4. 新しい構造設計体系の確立

より安全性の高い建築物の建設を促進するため、目標とすべき耐震性能等が明確でその性能を有することを構造計算等により適切に評価することができる性能規定型の新しい構造設計体系を検討する必要がある。

5. 設計・施工段階での品質管理の徹底

今回の地震では、木造住宅における耐力壁の不足や構造計算における壁の剛性を過少に評価する等の不適切な設計、鉄骨の溶接工事やコンクリート工事等における不適切な施工や品質管理の不備が原因と見られる被害も多数発生している。このため、適切な構造計算の実施及び設計図書に適切な施工方法を明示させることを徹底するとともに、設計者・施工者による信頼における品質管理を担保する仕組みや施工段階における公的な中間検査や完了検査を充実する方策を検討する必要がある。

6. 防災性の高いまちづくりの推進

老朽化した木造住宅が密集した地域での計画的な建替え等、住宅市街地等における整備を促進し、防災性の高いまちづくりを推進するための総合的な支援策を検討する必要がある。