

住宅内部における被害実態と安全性

北浦 かほる

—阪神・淡路大震災特別研究—

キーワード：1) 耐震性, 2) 災害, 3) 避難, 4) 戸建住宅, 5) 集合住宅, 6) 中高層住宅, 7) 超高層住宅, 8) 家具, 9) 家電, 10) 加速度

1. 研究の目的

阪神・淡路大震災では躯体被害の少ない集合住宅でも内部被害は甚大で、過去の戸建住宅の被害と傾向を異にする未曾有のものであった。本研究の目的はこうした住宅の内部被害実態を把握し、その要因を分析することであり、今後の集合住宅の設計資料として重要な意味を持つものと考えられる。

2. 調査住宅の概要

躯体被害のない住宅の内部被害実態を把握するために、本調査では躯体被害が半壊以下～被害なしの住宅を対象とし、全壊は除外した。表2-1に示す4種の調査文(2), 4), 7), 8), 10) で採取した455件のデータ中、諸条件に適合する343件を分析に用いた。調査住宅の概要を図2-1及び表2-2に示す。被害に関わる要因を明らかにするために、①「震度7地域」と震度7地域を除く「災害救助法適用地域(以後、適用地域と略す)」で震度別、②「躯体被害あり」と「躯体被害なし」で躯体被害別、③木造在来工法・2×4工法・プレファブ工法の「独立住宅」とRC造・SRC造・S造の「集合住宅」で住宅形式別に、各被害を比較した。表2-3に平均建築年数を示す。

3. 数量的分析による被害要因の検討

3.1 揺れの感じ方と地震時の行動

揺れに関する自由記述では従来の地震を越えた激しさが物や音、光などで表現されていた(表3-1)。半数の人が水平動だけでなく上下動や回転する揺れを感じていた。しかし、震度7地域では上下動を感じた人(図3-1)が適用地域に比べて少なかった。これは震源地との距離の近さが影響しており、水平動と上下動が同時に来たためと考えられる。また、独立住宅に比べて集合住宅に居住

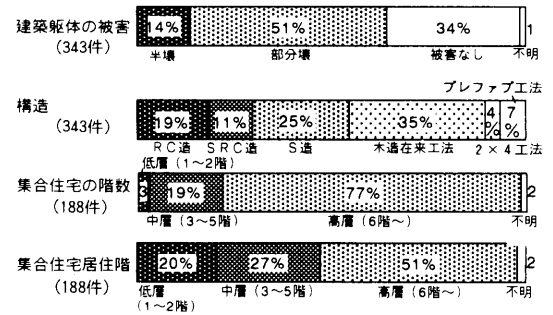


図2-1 調査住宅の属性

表2-2 調査住宅の地域内訳

地域	住戸数 (件)	震度7の地域の占める割合 (件)
神戸市	26.8% (92)	34.8% (32)
芦屋市	28.9% (99)	11.1% (11)
西宮市	11.1% (38)	18.4% (7)
尼崎市	3.8% (13)	0.0% (0)
宝塚市	6.4% (22)	18.2% (4)
伊丹市	1.2% (4)	0.0% (0)
他兵庫県	4.4% (15)	0.0% (0)
大阪府	17.5% (60)	0.0% (0)
合計	100.0% (343)	15.7% (54)

表2-3 各グループの平均建築年数

グループ	平均建築年数
震度7地域	19.7年
適用地域	17.5年
躯体被害あり	18.4年
躯体被害なし	16.8年
独立住宅	22.0年
集合住宅	14.8年

表3-1 揺れについての印象・感じ方

- 具体的な物に例えて表現
 - ロードオマン → 怪獣に揺らぶられている
 - ふるいにかけられた
 - トランポリン → 荒海の船に乗っている
 - フライパンの上で豆をいじる
- 空間が回転して揺れている様子を表現
 - こまの上 → 湯釜、洗濯機の中 → 餅つき、攪拌機の中
 - シェークされている → ミキサーにかけられた → 遊園地の遊具に乗っている
- 上下方向に対する揺れを表現
 - 落ちていく → 下から突き上げる → 急にドンと起こされた
 - 体が宙に浮く → 下へ沈んでいくように引張られる
- 乗り物の事故や機械音、爆発音として表現
 - 爆撃を受けた → コンクリートをドリルで砕く → 車が家に入った
 - 飛行機の落下 → 死れ地をスプリングのきかない車で暴走している
- その他様々なものに例えた表現
 - 地獄 → 立っていられない → ドラマの中
 - 隕石 → 初めて経験する大きさのもの → この世の最後
- 音に関する表現
 - バイクが走る音 → 家がおれるようなきしみ音 → 雷が落ちたような音
 - エンジンをふかす音 → 大雨のような液状化のゴップという音
- 光に関する表現
 - 大きな音と光 → 緑の光

表2-1 調査の概要

調査	調査対象住戸	調査方法	発送数(回収数)	有効数	期間
調査A	予め承諾を得た一般被災住宅	戸別訪問	訪問数 185	148	1995年2~4月
調査B	芦屋浜超高層住宅	戸別訪問	訪問数 80	80	3月
調査C	インテリアプランナー宅	アンケート	700 (73)	29	3~5月
調査D	日本建築学会近畿支部会員宅 D1追加調査応諾者中 木造在来工法・2×4工法・プレファブ工法の住宅	アンケート	279 (117)	86	3~5月
					7~8月
合計			1,244 (455)	343	

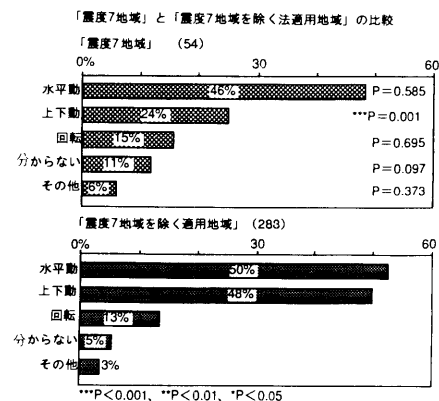


図3-1 震度別・揺れの方向

する者の方が上下動や回転による揺れを強く感じていた。

地震直前は9割強の人が睡眠中で、年齢の高い人が動き始めていた。寝室にいた人は7割であった。揺れ終了直後の行為は、人の安全の確認(30%)と設備等の安全対策(27%)であったが、茫然として何も出来なかった人が1割いた。適用地域に比べ震度7地域で情報の収集をした人が少なかったのは、被害が非常に大きかったことや停電のためと思われる。室内外の点検や情報収集を行った人が集合住宅より独立住宅で多く見られ、住戸の集合形態が災害時の人間の行為を規制し易いことが分かる(図3-2)。男性が室内外の点検や情報収集を、女性が室内で身の安全を図る行為を多く行っていた。年齢別では30代・40代が「人」に関する安全の確認を、50代が「物」に対する緊急の安全対策を行っていた。20代以下は身の安全を図ることで精一杯の様子が目立った。

3.2 避難時の障害要因と人的被害の検討

避難時の障害要因となったのは家具や家電機器の転倒(33%)であった。ガラス・陶器の破損や散乱を合計すると4割強に達し、これも避難時の障害となっていた。こうした障害要因は震度別で有意差が見られ、震度7地域ではガラス等の破損の障害が目立った。住宅形式別でも有意差が見られ独立住宅でガラス・陶器の破損が多かった。

今回の5千余人の犠牲者の9割弱は建築躯体被害による圧死であった。家財による死者は少ないが老夫婦が家具の転倒で、子供がピアノに挟まれ、乳児が飛んで来たテレビに当たった等の例を把握している。

本調査対象住宅は躯体が倒壊していないため、人的被害は1.3割弱である。こぶ程度(40%)や軽傷(55%)と比較的軽く、骨折等の重傷はわずか(3%)であった。怪我比率は4:6で女性が多いが、居住者に対する怪我人率で見ると大差はない。怪我人は40代(30%)が最も多く、30代(16%)と50代(15%)が続く。特に30代の男性(28%)と40代の女性(24%)でその比率が高く(表3-2)、家庭内で責任の重い人が怪我をしていた。怪我は揺れの最中が5.5割と最も多く、後片付け中、揺れの直後の順であった。怪我の原因は家具等の転倒落下が約半数、ガラスによるものが3割弱を占めていた。その他(18%)の内容は、①全く記憶のないもの、②物の落下によるもの、③揺れの最中に動いたため、④水運び等の地震後の2次災害によるものであった(図3-3)。

震度別では震度7地域、躯体被害別では躯体被害あり、住宅形式別では集合住宅で怪我人率(表3-3)が高かった。震度7地域では最も怪我人率が高く地域別に見てもこの傾向は反映されていた。避難時の障害物として、その他(本の散乱19%)やガラス等の破損(18%)を挙げた人の怪我人率が高かった。怪我人数と家具転倒率や主

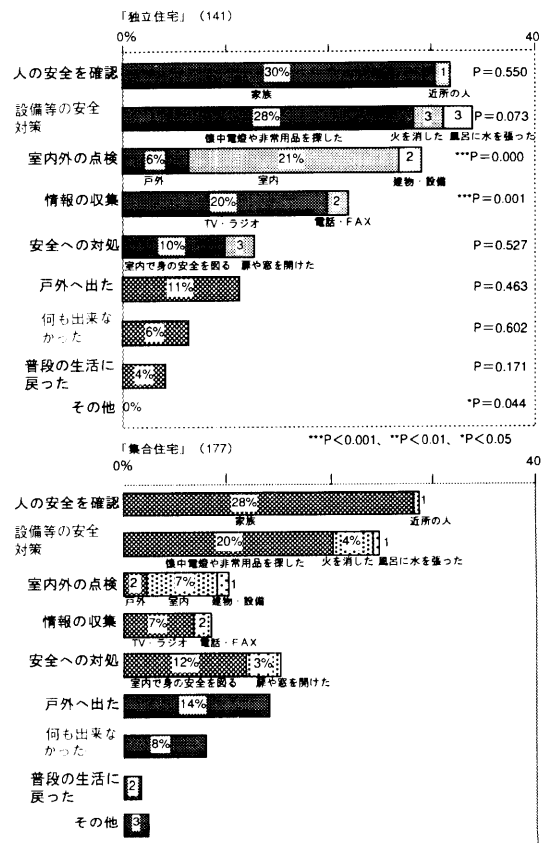


図3-2 住宅形式別・揺れ終了直後の行為

表3-2 性別・年齢別怪我人率の比較

	居住者構成 (人)			怪我人数 (%)			怪我人率 (%)				
	男	女	計	男	女	計	男	女	計		
乳幼児	23	15	41	4%	1	2	3	2%	4.3	13.3	7.3
小学生	47	44	91	9%	3	6	9	7%	6.4	13.6	9.9
中・高生	42	63	109	11%	3	1	4	3%	7.1	1.6	3.7
大学~20代	62	86	150	15%	3	10	13	10%	4.8	11.6	8.7
30代	47	64	111	11%	13	7	20	15%	27.7	10.9	18.0
40代	91	112	204	20%	12	27	39	30%	13.2	24.1	19.1
50代	69	75	144	14%	10	9	19	15%	14.5	12.0	13.2
60代~	73	77	153	15%	7	10	18	14%	9.6	13.0	11.8
不明	12	15	29	3%	2	3	5	4%	16.7	20.0	17.2
合計	466	551	1032	-	54	75	130	-	11.6	13.6	12.6
怪我人の男女比	男性: 41.5% (=54/130)			女性: 57.7% (=75/130)							

(合計、計の人数には性別不明人数を含む)

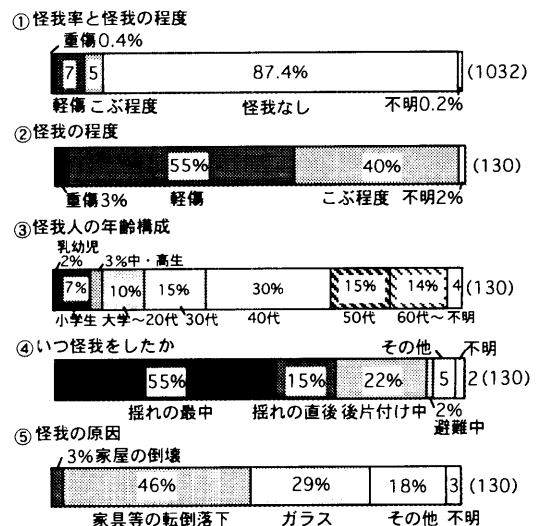


図3-3 内部被害による人的被害

寝室，子供室，台所の散乱とは相関（表3-4）が見られた。

3.3 部屋の散乱の分析

3.3.1 部屋の散乱状態とその要因

主寝室・子供室，居間・台所では家具転倒と一面散乱の被害が約4割と多く見られた。前者は家具転倒が，後者では一面散乱が目立った(図3-4)。寝室は収納家具が多く，居間や台所は小物の収納物が多いためと考えられる。面積が小さく，置かれている物が少ない玄関，洗面浴室，便所では1割と被害が少ない。震度7地域では家具転倒と一面散乱が6割前後で，適用地域の1.5倍見られた。躯体被害別では被害ありで5割前後，被害なしで2割強と更に影響していた。集合住宅でも5割前後で，独立住宅の被害の2倍に達していた。躯体被害のある集合住宅で，震度7地域の住宅が最も被害が大きかった。

3.3.2 部屋別，床材料別，家具転倒率の検討

『地震で問題になる家具と家電機器の総数に対する転倒したそれらの数の割合』を家具転倒率とした(表3-5)。平均家具転倒率は居間に比べて，主寝室・子供室でわずかに高い。収納家具が多く置かれているためと考えられる。主寝室の平均家具転倒率は，震度7地域(49%)，適用地域(32%)，躯体被害あり(43%)被害なし(20%)，集合住宅(39%)，独立住宅(28%)で各有意差があった。

床がじゅうたんと塩ビシート・Pタイルでは，家具の転倒率が高くフローリングでは低い(表3-6)。畳は両者の中間であった。じゅうたんとフローリング，畳とフローリング間では有意差があり，床材料の表面性状の影響が見られた。

3.3.3 部屋の内装被害部位の検討

被害合計が一般には4割前後であるのに対し，居間では7割弱と被害が目立つ。開口部が大きい居間の特性の現れと考えられる。被害部位はどの部屋でも壁面の被害が最も多く，特に間仕切の被害が目立つ。天井，床面の被害は全室を通して少ない。

表3-3 住宅形式別・躯体被害別・震度別怪我人数と怪我の程度

住宅形式・躯体被害・震度 (居住者数)	怪我あり				合計	怪我なし	検定値P
	こぶ程度	軽傷	重傷	合計			
木造在来 (341)	2.9 (10)	4.1 (14)	0.0 (0)	7.3 (25)	92.7 (316)	0.534	0.000
プレファブ (51)	5.9 (3)	5.9 (3)	0.0 (0)	11.8 (6)	88.2 (45)		
ツーバイフォー (44)	0.0 (0)	6.8 (3)	0.0 (0)	9.1 (4)	90.9 (40)	0.081	***
独立住宅・計 (436)	3.0 (13)	4.6 (20)	0.0 (0)	8.0 (35)	92.0 (401)		
居住階・低層 (101)	2.0 (2)	13.9 (14)	0.0 (0)	15.8 (16)	84.2 (85)	0.331	0.005
中層 (148)	5.4 (8)	4.7 (7)	0.0 (0)	10.1 (15)	89.9 (133)		
高層 (277)	9.4 (26)	7.6 (21)	1.4 (4)	18.4 (51)	81.6 (226)		
集合住宅・計 (526)	6.8 (36)	8.0 (42)	0.8 (4)	15.6 (82)	84.4 (444)	0.001	***
半壊 (140)	7.1 (10)	10.0 (14)	0.0 (0)	17.1 (24)	82.9 (116)		
部分壊 (533)	5.4 (29)	7.7 (41)	0.8 (4)	13.9 (74)	86.1 (459)	0.001	***
躯体被害あり・計 (673)	5.8 (39)	8.2 (55)	0.6 (4)	14.6 (98)	85.4 (575)		
躯体被害なし (340)	3.5 (12)	5.0 (17)	0.0 (0)	8.5 (29)	91.5 (311)	0.001	***
震度7の地域 (141)	9.2 (10)	11.3 (16)	0.0 (0)	23.1 (30)	78.7 (111)		
適用地域 (890)	4.3 (38)	6.3 (56)	0.4 (4)	11.1 (99)	88.9 (791)		

(合計人数には怪我程度不明者の人数を含む)

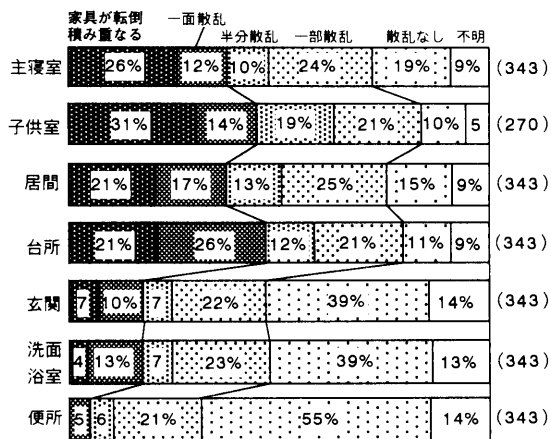


図3-4 各室の散乱状態

表3-5 各室の家具転倒率

部屋	(件)	平均家具転倒率
居間	(334)	30.0%
主寝室	(329)	36.1%
子供室	(230)	33.3%
全室	(342)	30.8%

表3-6 主な床材の家具転倒率

床材	(件)	平均家具転倒率
じゅうたん	(373)	38.1%
畳	(275)	32.8%
フローリング	(176)	22.7%
塩ビシート・Pタイル	(13)	39.5%
その他	(11)	24.4%

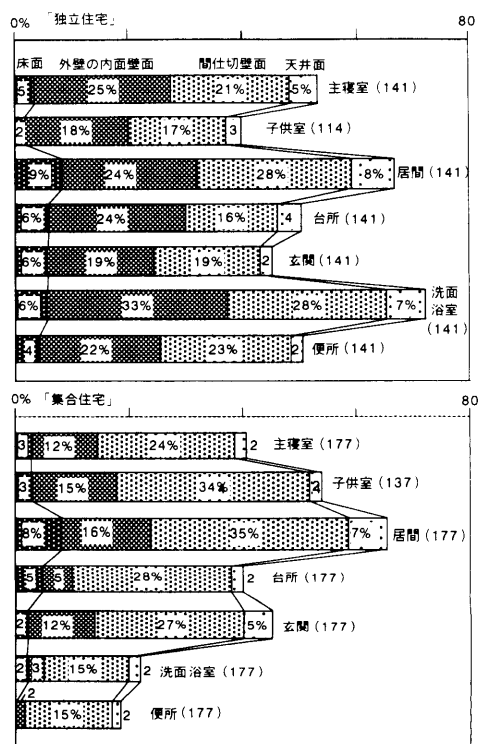


図3-5 住宅形式別・各室の内装被害部位

表3-4 怪我人数・怪我の程度に対する相関

相関	*怪我人数		
	(件)	検定値P	相関係数R
主寝室の散乱状態	343	***0.000	0.255
子供室	269	***0.000	0.229
居間	343	**0.007	0.146
台所	343	***0.000	0.218
玄関	343	***0.001	0.183
洗面浴室	343	**0.008	0.143
便所	343	0.078	0.095
家具転倒率	343	***0.000	0.315
非難時障害物数	343	*0.019	0.126
倒壊状況	343	**0.009	0.142
建築年数	343	0.395	0.046

*** P < 0.001, ** P < 0.01, * P < 0.05

震度7地域では居間、洗面・浴室、便所の各部位の被害合計が適用地域より3割前後多く、子供室を除く他室でも2割前後の差で被害が目立つ。躯体被害別では全室3～5割の差で被害が多い。独立住宅では(図3-5)、洗面浴室と便所の被害が各7割程度もあり、水回りがシステム化されている集合住宅と異なる傾向を示す。しかし、間仕切壁の被害は洗面浴室と便所以外の全室で集合住宅が1割前後高い。

3.3.4 設備・装備の被害の検討

天井付照明器具の被害(6.3%)は少なく住宅形式別で有意差が見られた。集合住宅で躯体被害があるものに被害が多かった。暖冷房機器の被害も(6.2%)少なかった。躯体被害別と住宅形式別で有意差はないが震度別では有意差があった。建具の破損は2件(1.8%)であった。

3.4 家電機器の被害の分析

テレビ>電子レンジ>冷蔵庫>洗濯機の順で差が見られた(図3-6)。テレビは5割が遠くまで飛んだり倒れたりし移動を含めると約8割が被害を受けていた。電子レンジは3割が飛んでいた。冷蔵庫が飛んで倒れたのは2割であったが、4割が滑っていた。洗濯機は被害が少なく移動も少なかった。テレビの被害は震度7地域が適用地域よりも多く見られた(図3-7)。テレビ、電子レンジ、冷蔵庫の被害は躯体被害のひどいもの程目立っていた。集合住宅ではテレビ(図3-8)、電子レンジ、冷蔵庫だけでなく洗濯機でも被害が見られた。

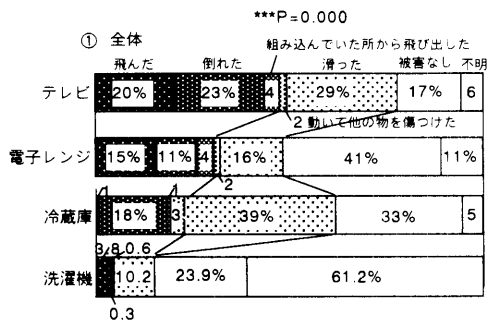


図3-6 家電機器の被害 (343)

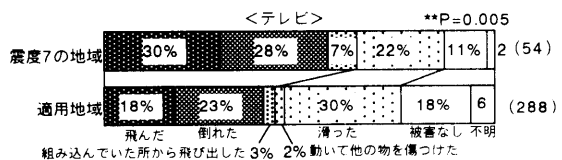


図3-7 「震度7の地域」と「震度7の地域を除く災害救助法適用地域」の比較

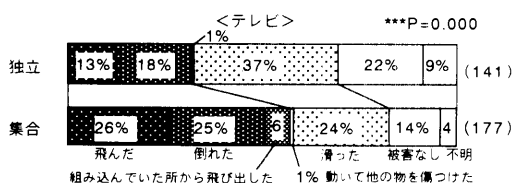


図3-8 「独立住宅」と「集合住宅」の比較

テレビの床材別被害はじゅうたん床では飛んだ倒れたが6割、フローリング床では4割で、有意差が見られた。フローリング床は表面の摩擦抵抗が小さく滑り易い。電子レンジもじゅうたん床6割、フローリング床2割と転倒率で有意差が見られた。冷蔵庫はじゅうたん床で6割程度倒れ、フローリング床では1割しか倒れなかった(図3-9)。冷蔵庫は大型で重くキャスター付のため床材料の影響が顕著に出たのであろう。家電機器は形態の類似性が強いいためか、床材別で被害差が見られた。

家電機器の置かれ方と被害の関係は、テレビの位置が床面、50cm未満、50～90cm未満と、置かれていた高さが高くなる程被害率が高くなっていった(図3-10)。電子レンジでも同様であった。しかし、電子レンジは130cm以上になると造付けや棚に組み込みが多くなるため、被害率は低くなる。テレビは重く、キャスター付台に置かれており危険な存在であった。電子レンジは中空で軽いが

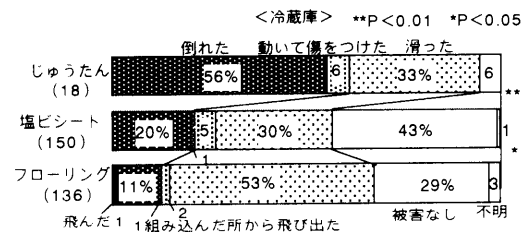


図3-9 床材別家電機器の被害

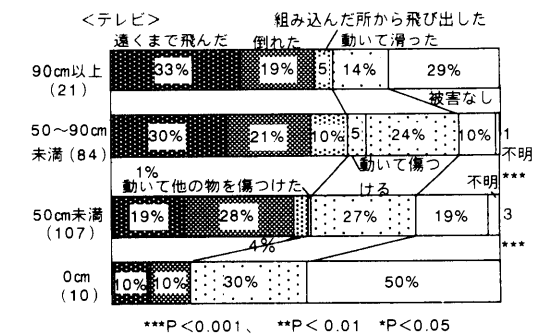


図3-10 高さ別家電機器の被害

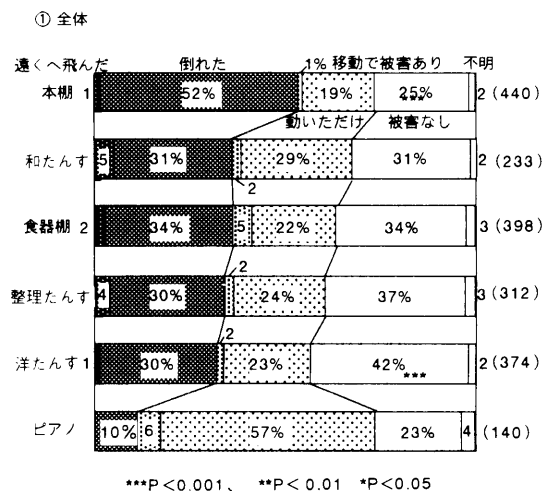


図3-11 主な家具の被害状況

7割余がワゴンや作業台上に置かれているため、被害を招き易かった。冷蔵庫は安定した形態であったが、重量物であり衝突による危険性が高かった。家電機器については地震についての配慮が全くされておらず、今後の製品開発時における安全対策が必要である。

3.5 家具と台所設備の被害の分析

台所設備は造付けのため、ガステーブルの移動が目立った他はほとんど被害は見られなかったが、下部の開き戸開放による散乱の被害が多く見られた。

家具では(図3-11)本棚が5割以上倒れ、被害は最大であった。和たんす、食器棚、整理たんす、洋たんすの被害傾向はよく似ており、比較的重量の軽い家具の方が被害が少なかった。ピアノの転倒は少なかったが、6割以上が移動し、危険であった。その他の家具の被害(図3-12)はライティングビューローの4割が転倒し、飾り棚とドレッサーの3割が倒れていたが、学習机で倒れたものは1割であった。震度7地域と適用地域では一部の家具(図3-13)だけに差が見られたが、躯体被害別、住宅形式別(図3-14)ではほとんどの家具で被害に差が見られた。集合住宅では構造体に地震力が吸収され難いため、地震力が家具に及び易いことや、棟高さや居住階高さが揺れを増幅すること等が、独立住宅の揺れ方との基本的な差異を生んでいる。

床材別家具の転倒率で有意差の見られたのは、食器棚(図3-15)だけであった。家具は家電機器程床材の影響は現れ難かった。家具では配置や収納物の種類、詰め方による重心の位置等、複雑な要因が関わっているためと考えられる。

家具の上の危険物については家具の5割に載せられており、その7割が落下していた。落下物の中にはガラスや陶器などが5割含まれていた。家具の積み重ねは和たんすに多く、落下危険度が高かった。

4. 事例による住宅内部被害の分析

4.1 家具のプロポーションと転倒要因の検討

建物内にある家具に対し地震の振動は地盤→建物基礎→建物→設置階床→家具という経路で伝わる(図4-1)。問題となる床の振動は地震動と建物の振動性状が連成しあって生ずるため、被害を予測し難い。宮城沖地震程度を想定した実験による家具の転倒の実験式が図4-2である。本論ではこの値を目安に家具のプロポーションと転倒の有無を検討する。他の条件を揃えるために、対象を芦屋浜の超高層住宅内の家具と独立住宅内の家具に限定し、前者を上・中・下層階に、後者を震度7地域と適用地域に分けて、揺れによる影響を区分した。揺れの影響の差を考慮して、震度7地域と上層階ではプロポーション値が4以内で倒れなかった物、適用地域と下層階では

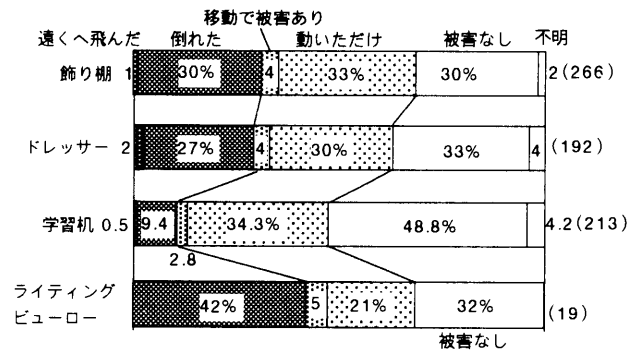


図3-12 その他の家具の被害状況

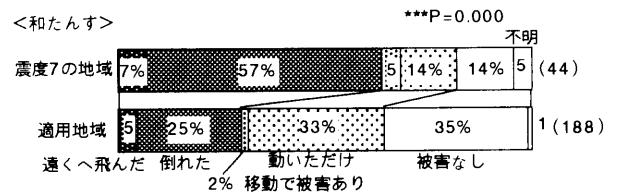


図3-13 「震度7の地域」と「震度7の地域を除く災害救助法適用地域」の比較

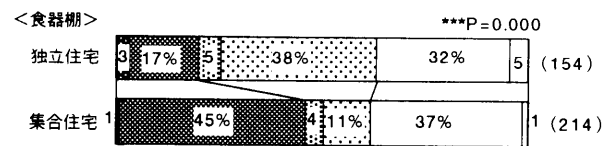


図3-14 「独立住宅」と「集合住宅」の比較

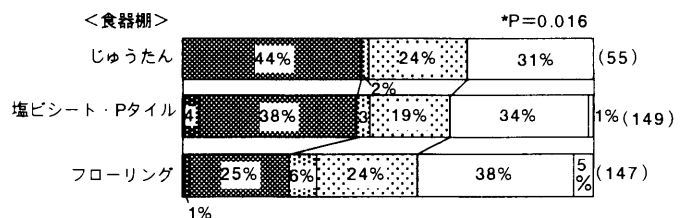


図3-15 床材別家具の被害

プロポーション値が4以上で倒れた物、中層階では他とは違う傾向を示した物を中心に、事例を詳細に考察した。

(1) **本棚** 図4-3は本棚の固定状態別被害で、2次曲線は前述の実験式を表す。本棚は奥行が浅い割に背が高く、倒れやすいプロポーションを持つ。震度7地域と上層階で転倒しなかった事例には、中身の落下や予め重い物を下の方に収納していたことで重心位置が低く安定していた例や、揺れ方向と家具の幅方向が一致したと思われる例であった。また、震度7地域では固定方法が簡単であったため転倒したり、ねじ等の固定で逆に家具が破壊した例が見られた。

(2) **和たんす** 倒れやすいプロポーションが多い。震度7地域ではプロポーションに関係なくほとんどが転倒していた。集合住宅の上層階でもプロポーション値が4以上の物の転倒が見られた。震度7地域や上層階で転倒しなかった例としては、引出しの下部に重い物を入れていたり上部の開き扉の中身が揺れによって飛び出したりした重心の低いものであった。下層階で転倒したのは積み重ね形式のものであった。

(3) 食器棚 大半が本棚と同様、転倒し易いプロポーションであった。独立住宅では造付けが多く、震度7地域で転倒しなかったのも造付けであった。それ以外では、上部にあった吊戸棚がつかえて転倒を妨げたと思われる例や、食器棚特有の奥行の浅い上部と深い下部から成る重心の低いタイプであったが、上下が分離すると不安定であった。家具転倒の有無を分ける偶発的要因の一例を示す(図4-4)。背が低く安定した2つの同じ食器棚であったが、部屋の中央の①は転倒したが、壁際の②は転倒を免れた。②は壁との衝突でロッキングエネルギーとして地震力を消費したが、①はまともに地震力を受けたためであろうと推察される。

(4) 整理たんす 奥行は45cmに集中していたが高さにばらつきがあり、形態が多様で引出しが多いことが特徴である。転倒状況は適用地域及び中・下層階で、揺れが比較的小さい場合は、実験式とほぼ一致していた。震度7地域や上層階ではプロポーションと関係なく転倒していた。上層階で転倒しなかった例では、引出しの飛び出しでバランスがとれていたり、中層階であるのに、重い鏡台を積み重ねた形態であったため落下した事例があった。適用地域では、積み重ね形式であったが家具側面が壁面に接していたため転倒しなかった例が見られた。

(5) 洋たんす 奥行が60cm程度と深く、転倒し難い形態である。中空で軽く、衣類を吊り下げる形式であるため重心が上になっているが、中身が動いてバランスをとるなど他の家具と異なる点が多々ある。そのため固定状態や設置室の床材料の影響が大であった。

(6) ピアノ 大型で重量があり、家具類とは異なる条件を持つ。転倒した例は家具より少ないが、移動したものが多かった。転倒例は独立住宅では2階に置いてあった1件のみで、集合住宅の上・中層階に集中していた。転倒例はじゅうたんの上に設置されていたアップライト型が多く、プロポーションより階層や床材料の影響が見られた。

(7) 家電機器 テレビ、電子レンジ、冷蔵庫等は機能に重点があるためプロポーションは家具よりも一定値に

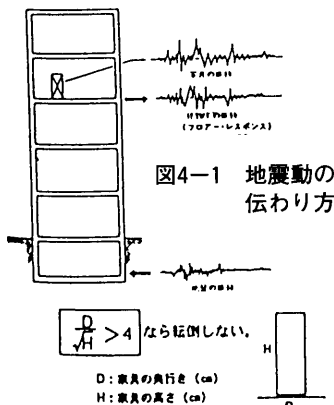


図4-2 家具のプロポーションと転倒の目安

収斂しており、設置方法や設置室の床材料も類似していた。そのため個別の条件よりも震度や躯体被害、住宅形式等の空間側の条件が転倒の有無に影響していた。

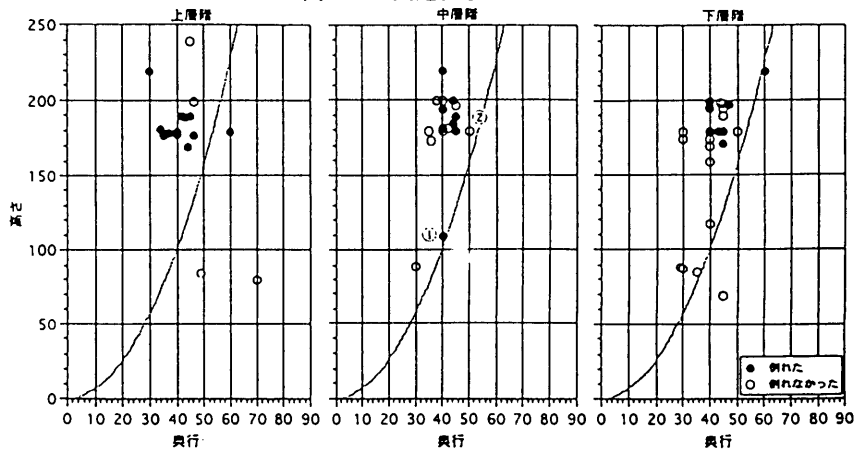
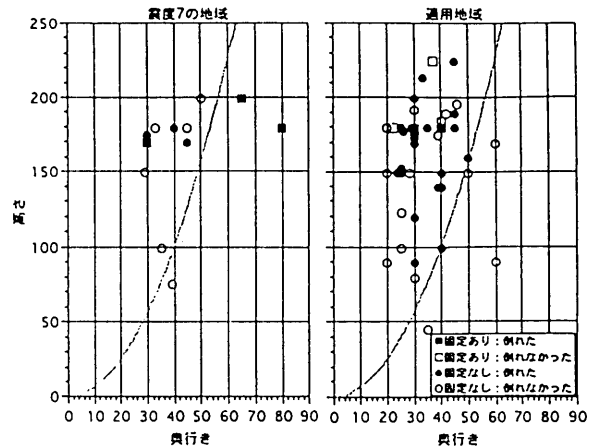
以上、比較的揺れの小さい場合にはほぼ実験式に沿った結果であったが、大きな揺れが生じた上層階や震度7地域では、実験式のプロポーション値が4より大の家具でも転倒する例が多数見られた。床材、積み重ね、固定、家具の種類や配置、中身の落下による重心位置の変化等の偶発的条件が作用し転倒の有無を左右していた。

4.2 住宅平面図による内部被害の総合的分析

ここでは全分析データから、逆に一定の被害条件を持つ住宅をコンピューターで算出し、それらの被害状況を平面図で総合的に見ていくことで内部被害の複合的な要因を把握、考察することを試みた。

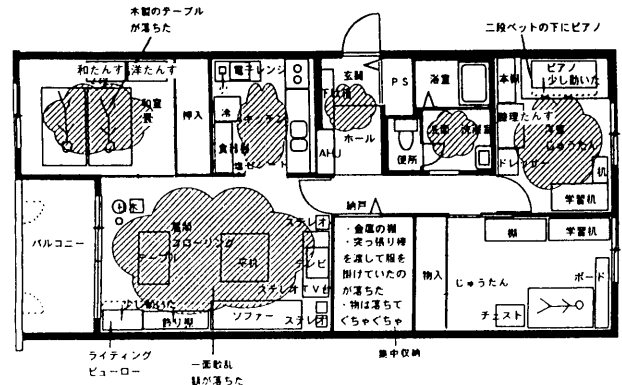
4.2.1 家具転倒率100%の住宅

数量分析に用いた343件中、該当する住戸は4件あった。震度7地域には1件もなく、全て適用地域であった。2×4工法の独立2階建住宅が1件、芦屋浜の超高層住宅が3件(19階・26階・26階)である。2×4工法の独立住宅(須磨区・22年)は家全体が土台から5cmずれて半壊の被害であった。同じ須磨区の家具転倒率0%の2×4工法2階建(築後10年)は岩盤上に一体のRC造基礎が



造られていた。

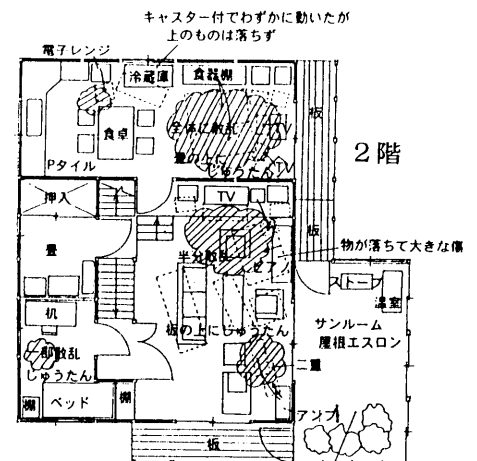
4件中2件の家族で、足に切傷、整理たんすの下敷による負傷が見られた。ミキサーの中のように方向が分からない程揺れたと感じており、テレビ、電子レンジ、冷蔵庫は4件とも飛んでいたが、家具レスにしていて主寝室は散乱なしの住戸も見られた。同じ芦屋浜の超高層で家具転倒率0%の住戸は1階/29(29階建の1階居住を表わす。以下同じ。)、1階/19、19階/29の3件で、これらには集中収納方式、低い家具、物や家具が少ない等の共通した住まい方が見られた。しかし、家具転倒率0%でも19階(No.10)等居住階の高い住戸では散乱の被害が大きくなっていった。



No. 10

4.2.2 震度7地域にある家具転倒率0%の住宅

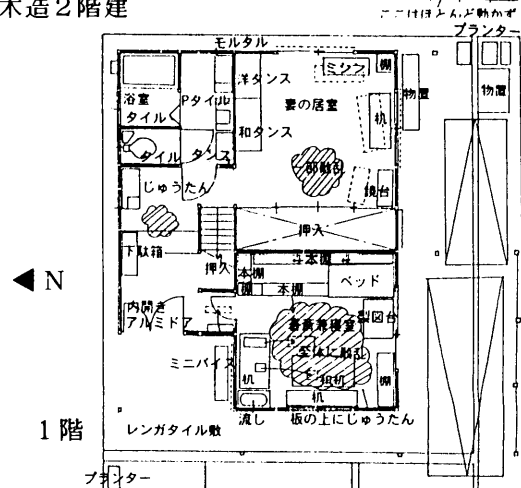
該当する住宅は2件で、いずれも木造在来工法による独立2階建住宅で、躯体被害なし(築後10年)と部分壊(築後25年)であった。前者では鴨居と家具を紐で繋いだり、家具を積み重ねない配慮がされていた。主寝室が畳の他はすべてフローリングであったためか、家電機器も全て滑っており、部屋の散乱も比較的少なかった。



木造2階建

4.2.3 散乱の被害が大きくて家具転倒率が小さい住宅

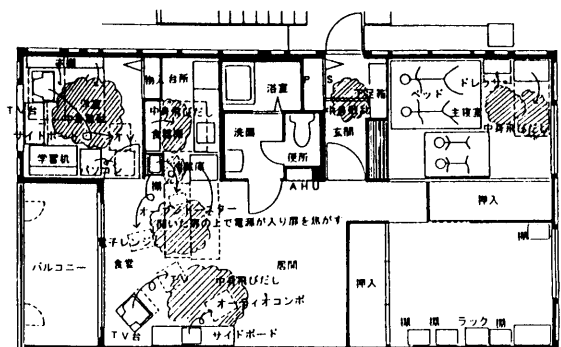
7件あり、震度7地域が3件と適用地域が4件であった。独立住宅が3件、集合住宅が4件で、どの住戸にも躯体被害が見られた。集合住宅は2階/5、4階/7、19階/29、13階/29であった。独立住宅はRC造、プレファブ工法、木造在来工法(地下:子供室)で、地下室やRC造の効果が家具転倒率小に反映していた。共通して家具が少なく、家具の背が低く、奥行きが深い家具が多い上、家具を構造体に固定したり、造り付けにしたり、納戸に集中収納している住戸が半数以上あった。しかし、扉の開き防止がなく、中味の散乱と破損が2次災害を招いていた。フローリング床が半数以上を占め、床材料が家具転倒率の少なさと、散乱の多さを誘発していた。



No. 23

4.2.4 震度7地域にある高層階居住の住宅

該当する住宅は11階/11(築後2年)と6階/8(築後8年)の2件であった。いずれも躯体が半壊で、家具転倒率が50%前後であった。家具や家電機器は転倒しており、突き上げるような揺れやドーンという音、渦巻状の揺れ等さまざま、立ってられない状態が見られた。居室の散乱はもとより玄関、洗面浴室、便所の散乱が見られた上、洗濯機や衣類乾燥機、ピアノや固定していた本棚、デスクまでが倒れていた。1家族で複数の人に怪我が見られた。



No. 38

4.2.5 ピアノが転倒した住宅

14件あったが、震度7地域は1件だけであった。ピア

ノが転倒したのは集合住宅が13件と圧倒的に多く、独立住宅は1件(No. 23)だけであった。ピアノを持つ独立住宅65件中、転倒したのはピアノを2階に置いていた1件であった(転倒率1.5%, 移動率 64.6%)。集合住宅では72件中13件が転倒しており(転倒率18.1%, 移動率62.5%)ピアノが置かれている階数や高さの問題が指摘出来る。倒れたピアノの置いてあった部屋は12件とほとんど(85.7%)がじゅうたん床で、摩擦抵抗が大きい材料であったことが指摘出来る。

4.2.6 3種の家電機器の被害が大きい住宅

テレビと電子レンジが遠くまで飛び、冷蔵庫が倒れた住戸(No. 38)は13件あった。その内12件が集合住宅の高層階で、全て適用地域にあった。独立住宅1件だけが震度7地域にあった。テレビの置いてあった部屋はじゅうたん床が83.3%と極端に多くなっていた。設置高さも50~90cmが58.3%と最多傾向を示していた。電子レンジも同様で、じゅうたん塩ビシート床が91.7%, レンジ高さも90~130cmが66.7%と高かった。冷蔵庫も塩ビシート66.7%, じゅうたん床25.0%で倒れ易い条件であった。家電機器の被害は転倒し易い個別の条件が幾つも重なった結果であることが分かった。

5. 集合住宅における地震力の実測値と内部被害の分析

5.1 調査の概要

地震力と具体的な内部被害の関係を明らかにすることを目的に、地震計の設置されていた超高層集合住宅の内部被害を調査^{文9)}した。表5-1に示すように、大阪市の高見フローラルタウンで本棚とテレビ、人的被害についての悉皆調査Eを個別訪問による聞き取りで実施した。

5.2 居住階数による検討

前述の調査Bによる芦屋浜での各居住階数の被害を検

討し、各棟を上中下の3層に区分して集計した。揺れの感じ方は上中下で違いがなかった。怪我人は246人中40人で2割弱であったが、居住階別に見ると上中下で3:2:1の割になっていた。骨折など重傷の人は4人で、3人が上層、1人が中層と、上中層に集中していた。

各部屋の散乱状態(図5-1)は上中層の被害が大きく下層は比較的小さかった。部屋別では物が多く置かれている居室と台所でこの傾向が強く、物の少ない玄関、洗面浴室、便所では差が少なかった。内装被害は上中下で

表5-1 調査対象の概要

調査名	B (5棟)	E1 (1棟)	E2 (1棟)	E3 (2棟)
建築年	1975~1979年	1989年	1988年	1988, 1987年
構造	S造(PC板)	RC造(耐震壁)	RC造	RC造
住棟階数	19・24・29階建て	31階建て	14階建て	6階建て
住戸数	-	309戸	169戸	55戸, 54戸
有効回答率	個別訪問(80戸)	51% (159戸)	34% (58戸)	64% (35戸), 48% (26戸)
所有形態	分譲	賃貸	賃貸	分譲
場所	高浜町・若葉町	大阪市此花区高見フローラルタウン		
震元からの距離	約30km	約40km		

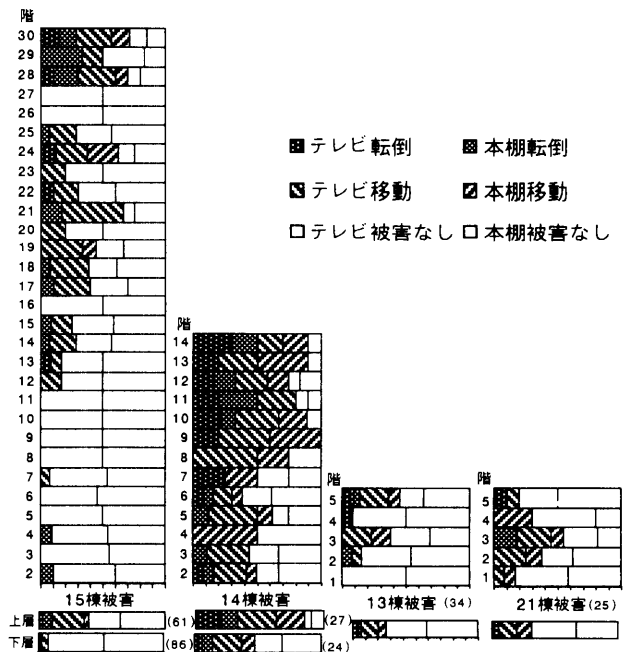


図5-3 高見フローラルタウンの被害状況(居住階のみ)

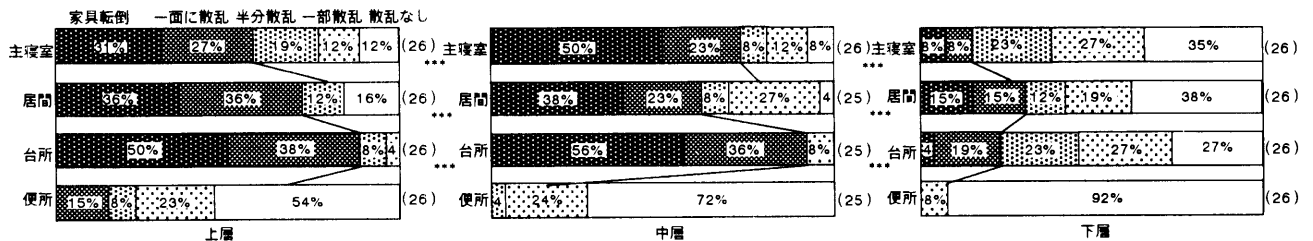


図5-1 各部屋の散乱状態

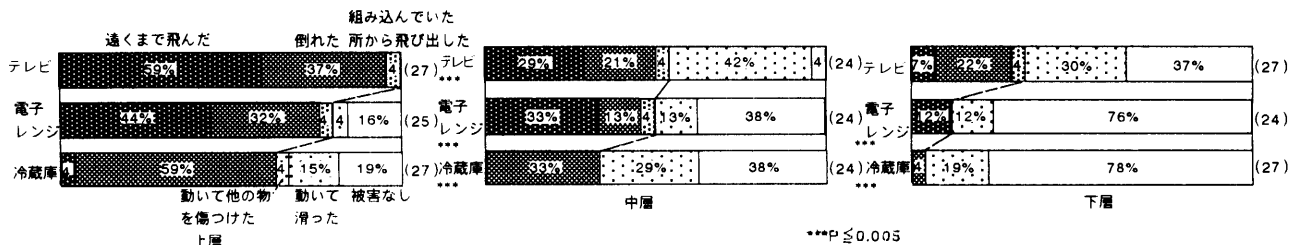


図5-2 家電機器の被害状況

量的な差は見られなかったが、被害部位など質的な差が見られた。上中層の内装被害は間仕切壁が中心で、下層ではそれに加えて構造壁にも被害が見られた。間仕切壁の被害がどの層でも多く見られたのは乾式工法で壁が構造体と異なる揺れ方をしたためであると推測出来る。照明や冷暖房器具、建具の被害は少なく全体の1割未満で上中下で差はなかった。住戸当たり平均家具転倒率は全体で44%であったのに対し、上層で64%、中層で42%、下層で24%と差が見られた。家電機器の被害状況(図5-2)は上中下層で漸次段階的な差が見られた。本棚・食器棚・整理たんすの被害は上中層で被害が多く下層と差があった。ピアノは中下層では転倒が少ないが上層では7割が転倒しており高さとの関係が顕著であった。

5.3 地震力の実測値による検討

地震計の設置されていた31階建の超高層棟におけるテレビと本棚の被害の結果を図5-3に示す。この棟では人的被害はなかった。被害状況は棟の半ばより上で多く(25%)、下で少ない(5%)。先行研究^{文3), 5)}により設計時に考慮されたせん断力や層間変位^{文3)}、本震時の最大加速度(表5-2)^{文3)}、モード^{文5)}などが明らかにされている。住棟の揺れ方を見るため1~5次までモードを合成してみたが(図5-4)、建物の振幅は5階から27階まで差がなかった。表5-2の最大加速度の水平成分の観測値を図5-5に書き加えると、1階と16階では余り変わらず、16階と31階の差が大きいことが分かった。地震力を表す指標のうち最大加速度が被害状況と似た傾向を示しており、この超高層棟では水平成分が150~200gal程度では被害が少ないのに対し、250~300galになると被害が始めている。また、上下動の加速度もあわせて比較すると上下動が400gal以下では被害が少なく400galを超えると被害が始めていることが分かった。

5.4 住棟高さによる検討

超高層棟はデザイン的に板状であっても構造的には全て塔状扱いで、住棟形態による差は比較出来なかった。そこで同地域に建つ超高層、高層、中層の住棟高さについて検討した(図5-5)。人的被害は超高層0人、高層4人、中層1人の軽傷があり、年齢性別の偏りはなかった。怪我人の居住階は高層の上層階(5, 10, 11, 14階)と中層の1階であった。本棚は超高層(13%)よりも高層(57%)の被害が多く、中層(18%, 32%)でもある程度の被害があった。テレビの被害も同傾向であった。また、高層では上(76%)と下(38%)で被害に差が見られたが、中層では階数差ははっきりしなかった。以上の結果、高層と中層の揺れが超高層よりも大きかったことが明らかになった。この原因として高層棟で共振が生じ

表5-2 本震の最大値^{文1)}

観測点	加速度 (gal)			速度 (kine)			変位 (cm)		
	東西	南北	上下	東西	南北	上下	東西	南北	上下
31階	◆305	■241	431	82.2	80.0	21.6	36.0	32.5	4.5
16階	◆195	■138	397	44.4	49.9	16.2	23.0	20.6	4.8
1階	◆178	■156	176	29.2	28.4	9.7	13.9	10.8	4.3

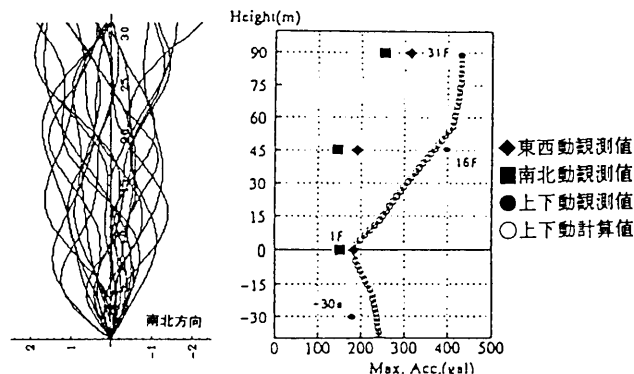


図5-4 1~5次モード

図5-5 各高さの上下動加速度推定値と実測値^{文3)}

たことが推測される。揺れの大きさは住棟高さに比例するだけでなく、地震動と躯体との共振の有無にも影響されていることが判明した。

6. 室内計画における耐震化

6.1 安全対策の実施と住まいに対する意識

地震後2カ月の時点での家財の置き方の変化を自由記述方式で調査した結果では、家財の置き方や就寝位置等に何等かの対策や工夫を実施した人が4割、何もなかった人が2割、残りの4割の行動は不明であった。更に、震災後1年の調査F(対象は公団賃貸集合住宅^{文6)}999戸)と比べてみると、最も多く実施されていたのが家具の転倒防止策、次いで落下物防止策、ガラスや割れ物対策であった。地震対策をしようと思わない人が2割強あり、しようと思いつながら何の対策もしていない人が1割強あった。その関連を見ると、躯体の被災度が高く、室内の散乱などの被災経験が高い程、安全対策が実施されていた。震災後2カ月と1年後で、安全対策のされ方に変化はなく、直後にされなければ時間が経っても放置されていた。

6.2 専門家の提案する耐震対策

日本建築学会の会員を対象に行った調査Dで専門家の立場からの内装被害に対する提案・助言をまとめて見ると、(1) 建築自体の設計施工面での安全確保の方法、①建築躯体に関する事項(壁下地、筋かい、耐力壁、荷重のバランス)、②照明器具・設備機器類に関する事項(ビルトイン、自動消火停止装置)、③建具(網入ガラス)、(2) インテリアエレメントの扱いや安全確保の方法、①家具の建築化、②家具の配置(出入口を避ける、低い位置に置く)、③家具の転倒防止(固定、床に接着、振止め、隙

間を詰める, 重心低く, 低い家具, 家具の緊結), ④家具の扉・その他(引違い, 開き防止金具, ガラス飛散防止, スチール棚の変形, 本棚の落下防止)などについて具体的な対策が示された。

6.3 住宅内部被害に関わる諸要因の整理

本棚の転倒という1つの被害を取り上げてみても, その背景には多段階で多くの原因が関わっていた。地震力の大きさだけではメカニズムを解明出来ず, 住宅形式, 構造, 基礎, 地盤強度, 建築年数, 躯体被害, 住棟高さ, 居住階数, 共振などの(1)建築躯体の条件と, 内装のシステム化, 装備・設備の建築化, 部屋の面積, 家財の量(部屋用途), 床材料, 家具配置等の(2)室内空間の条件が影響する。更にそれに, (3)物自体の条件が加わる。形態寸法と高さ, プロポーション, 設置のされ方, 設置高さ, 積み重ね, 扉の有無, キャスターの有無, 材質, 収納状況(重心位置)などである。

7. 結語

地震時の内部被害分析から躯体に被害がない住宅でも内部は大打撃を受けていることが判明した。内部被害に関わる要因は多く複雑であるためそれらを1つでも消去する方策が重要であり様々な段階での解決が考えられる。(1)設計, 住まい方による抜本的安全性の確保

内部被害は多くの物の存在が原因であり, 根本的には身辺から「物」を少なくすることである。伝統的な住まい方の見直しであり, 蔵・納戸・押し入れ等に集中的に収納し使う時に出す収納方式は, 地震の多い日本での生活の知恵であった。家具を建築化させることも1つの解決方法であるが, 扉の開き防止やガラスの飛散防止対策は必須条件である。高齢化を視野に入れて収納部を廊下側に設定し, 将来車椅子の使える廊下幅を獲得するなど収納計画理念の再検討も必要である。

(2) 家具等の固定や転倒防止の個別対策

危険度の高い家具の構造体への固定や転倒防止具の取り付けである。特に, 家電機器は現在固定する方法がないため早急な製品開発や耐震設計等の対応が求められる。

(3) インテリアの耐震設計基準の策定と普及^{文1)}

室内の耐震化は空間と物の両面からの対応が必要となる。①多種類の家具や家電機器・設備機器など室内に配される物の側の転倒防止機能と, ②それらの扉の開き防止機能, ③壁下地など空間の補強とモジュール化, ④物と空間の接合方法の一般化, ⑤それらをシステムとして捉え, 多岐に渡る多様な対応を標準化し, 社会的に普及定着させていくことが重要である。更に, ⑥空間の色やデザインを損なわない配慮が必須の条件となる。

<参考文献>

- 1) 田代元弘, 坪田張二:地震でも倒れない家具の留め方, 鹿島出版会, 1995.4
- 2) 阪神大震災住宅内部被害調査研究会(代表:北浦かほる):阪神大震災特別研究「住宅内部被害調査-中間報告」, 1995.7.
- 3) 横山浩明他:兵庫県南部地震における高見フローラル超高層RC造集合住宅の検証, (1)構造概要と検討方針, (2)地震観測の概要および観測記録, (3)観測記録, (4)地震時応答解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1995.8
- 4) 阪神淡路大震災インテリア被害に関する「関西インテリアプランナー協会会員のアンケート調査報告書」, 関西インテリアプランナー協会, 1996.1.17
- 5) 横山浩明:超高層RC造建物の地震観測と挙動解析, 日本建築学会第2回多次元入力と構造物多次元挙動に関するシンポジウム, 1996.2.1
- 6) 北浦かほる:震災後の避難行動と住み方の変化等に関するアンケート調査報告書, 大阪市立大学生生活科学部北浦研究室, 住宅・都市整備公団関西支社(協力), 1996.4
- 7) 北浦かほる, 静木美絵, 延与祐三子, 岡田奈美枝, 谷みや子:阪神淡路大震災住宅内部被害に関する研究(1)各部屋の被害の分析, (2)家電機器と家具の被害の分析, (3)怪我及び避難時障害要因の分析, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 1996.7.
- 8) 北浦かほる, 静木美絵, 延与祐三子, 岡田奈美枝, 谷みや子:阪神淡路大震災住宅内部被害の総合的分析(1)家具のプロポーション, (2)住宅内部被害平面図, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 1996.7
- 9) 北浦かほる, 山崎かおる:阪神淡路大震災インテリア被害における集合住宅の住棟形態と居住階数による影響, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 1996.7
- 10) 阪神大震災住宅内部被害調査報告書(最終報告), 日本建築学会計画委員会, 建築内部空間における被害WG, 1996.9
- 11) 北浦かほる:室内計画における耐震化, 1996年度日本建築学会大会建築計画部門研究協議会資料, 建築計画における耐震化, 日本建築学会建築計画委員会, 1996

<研究組織>

主査	北浦かほる	大阪市立大学生生活科学部教授
委員	加藤 力	京都工芸繊維大学工芸学部助教授
〃	片山勢津子	京都女子大学短期大学部講師
〃	瀬渡 章子	奈良女子大学生生活環境学部助教授
〃	武田 雄二	愛知産業大学造形学部助教授
〃	中山 邦子	中山インテリア研究所所長
〃	中西 真弓	神戸山手女子短期大学講師
〃	松原小夜子	平安女学院短期大学助教授
〃	山崎 晶	武庫川女子大短期大学助教授
〃	一棟 宏子	大阪樟蔭女子大学学芸学部教授
協力	谷 みや子	山崎かおる
	岡田奈美枝	萩原美智子
	静木 美絵	蔣 権
	延与祐三子	辻川ひとみ
	(以上大阪市大学生)	(以上大阪市大院生)