

//_/_/ 第4章 _/_/_/_/

灘区における建物被害のマクロ分析

4.1	はじめに.....	4-2
4.2	灘区の概要.....	4-3
4.3	灘区の建物被害データ.....	4-5
4.4	建物被害のマクロ分析.....	4-8
4.5	GISを用いた建物被害分析.....	4-17
4.6	まとめ.....	4-23

//_/_/_/_/_/_/_/_/_/_/

4.1 はじめに

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震は、これまでに経験したことの無いほどの都市災害をもたらした。今後も各地で発生するであろう大地震に備え、これまで使われてきた地震被害推定式を、この地震による膨大な被害データを取り入れて、より精度の高いものへと向上させることは重要であろう。さらに建物の被害データを分析することは、地震記録数が十分でないために把握しきれない地震動の分布状況を逆推定する上でも有効である。

膨大な数の建物が被害を受けた兵庫県南部地震の被害データを分析することにより、これまでは得られなかった多くの知見を得ることが可能である。兵庫県南部地震発生後には、第2章で述べたように、その目的・組織に応じていくつかの建物被害調査が実施されたため、いくつかの異なる被害データが存在している。その結果、各研究グループにより様々な建物被害分析の報告がされている。

自治体によって行われた建物被害調査に基づくデータを用いたものとしては、杉浦・山崎(1996)による宝塚市、後藤・山崎・佐藤(1996)による芦屋市、村尾・山崎(1997a)による北淡町、後藤・山崎・若松・浅野(1997)による尼崎市、杉浦・山崎(1997)による伊丹市、山口・山崎・若松(1997)あるいは岩井・亀田・碓井(1997)による西宮市、Miyakoshi, Hayashi, Tamura, and Fukuwa(1997)による神戸市、そして小川・山崎(1998)による明石市等がある。いずれも構造別・建築年代別を基本として建物被害の分析をしており、データに応じて階数別・屋根別等も行っている。

自治体による調査以外のデータとしては、震災復興都市づくり特別委員会(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)および兵庫県都市住宅部計画課が行った建物被災度調査結果のデータが挙げられる。それを数値化した建設省建築研究所(1996)は構造別・建築年代別・階数別・用途別等詳細な分析を行っている。緑川・長谷川・向井・西山・福田・山内(1997)は神戸市内の特定地域の調査データを用いて鉄骨造の被害レベルと建築年代との関係や年代と階数別の分析を行っている。村上・田原・藤田・三澤(1996)は、神戸市東灘区の木造住宅の密集した震度7の地域内における詳細調査に基づくデータを用いて、建築年代、建物規模などと被害の関係を明らかにしている。

本章では、第5章、第6章で地震動分布の推定や建物被害関数の構築を行っていく上で基盤となる建物被害調査のデータを用いて、神戸市灘区における建物被害の分析を行った。

4.2 灘区の概要

灘区の概要図を図-4.1 に示す。

灘区は、南北に長く、北に六甲山、摩耶山、南に大阪湾をひかえ、海と山に囲まれた地域で、昭和4年に神戸市に編入され、臨海部の神戸製鋼所をはじめとする大規模工場と背後の工業地や住宅地、商業地と、山麓部の緑豊かな住宅地の整備を通じて発展してきた。また区内には神戸大学、松蔭女子学院などの大学、短期大学や王子公園、近代美術館、王子市民ギャラリーなど神戸市の広域的な文化・教育・スポーツ施設が立地し、神戸の文化・教育・スポーツの核として機能している。昭和45年当時約17万人であった人口はその後徐々に減少し、高齢者人口比率は増加してきた。

兵庫県南部地震時には、良好な環境の住宅地である北部は比較的被害が少なかったが、中央部以南では、火災が発生し焼失した地区や、住宅がほとんど倒壊した地区もある。神戸市(1996b)の統計によれば、灘区全体では全壊12,757棟、半壊5,675棟、全焼327棟、半焼43棟、死亡者924人という被害を受けた。神戸市内においてこれらの被害は、全壊数では長田区(15,521棟)、東灘区(13,687棟)について、全焼数では長田区(4,759棟)、兵庫区(940棟)について、死亡者数では東灘区(1,461人)について被害が大きかった。図-4.2による兵庫県南部地震における灘区周辺の強震記録観測点(日本建築学会近畿支部耐震構造研究部会、1996)と気象庁(1997)が発表した震度7の帯を示す。強震記録が観測された点はこのように数が少なく、4.1で述べたように建物被害関数を構築するためには、地震動の分布を推定しなければならないことがわかる。震度7の帯は、東西に伸びた阪急電鉄と阪神電鉄の間にあることがわかる。

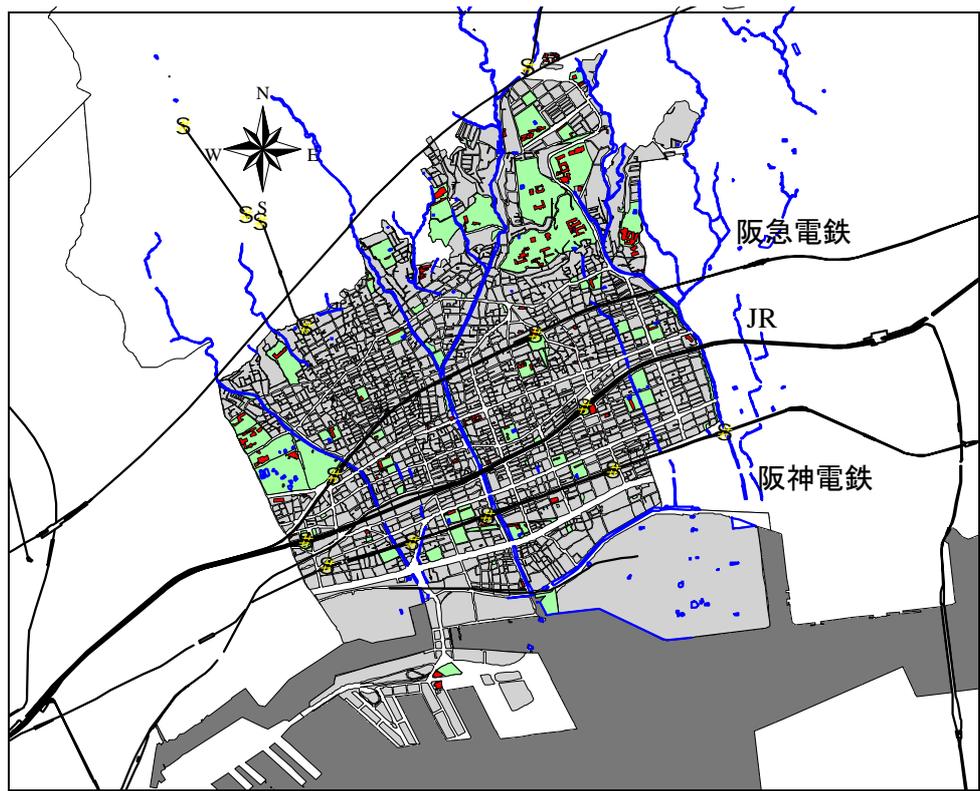


図-4.1 灘区の概要図



図-4.2 兵庫県南部地震における強震記録観測点と震度7の帯

4.3 灘区の建物被害データ

本章に使用した建物被害データは、兵庫県南部地震後に神戸市によって実施された建物被災度調査に基づくもので、調査項目は一棟ごとの町丁目、建築構造（7分類：木造、軽量鉄骨造、鉄骨造、鉄骨鉄筋コンクリート造、コンクリートブロック造、レンガ造）、建築日付、合計床面積、屋根（5分類：瓦葺き、スレート葺き、金属葺き、板葺き、その他）、階層、被害区分（3分類：全壊、半壊、全焼）である。第2章で述べたように、被害区分に関して、「一部損壊」という区分を取り入れた自治体もあるが、神戸市では、どの建物も何らかの被害を受けており「一部損壊」と「無被害」の区別をするのは難しい、という判断をしたため、「全壊」、「半壊」、「全焼」以外のものを「その他」としている。これらのデータの内、床面積10㎡未満のデータ（2,542件）、地上階のないデータ（213件）、建築日付が特定されていないデータ（35件）を削除した後、ゼンリン（1994）の住宅地図と照合したうえで、約3万件の灘区建物被害データベースを作成し、被害の分析を行った。

表-4.1に各主要構造の建築年代別の建物被害棟数を示す。図-4.3に示した通り、これらの建物データを構造別に見ると、全体の約4分の3を木造建物が占め、次いで鉄筋コンクリート造（以下、RC造）、鉄骨造（以下、S造）、軽量鉄骨造（以下、軽量S造）が全体のほぼ残りを占め、コンクリートブロック造、鉄骨鉄筋コンクリート造およびレンガ造などを含むその他の構造（以下、その他）はわずかであった。

構造別に見てみると、木造建物は、建築年の新しいものほど少なくなっており、最も多い1951年以前の建物の中には明治初期のものも含まれている。一方、日本において伝統的な建物構造である木造と比べて、新しい構法であるRC造、S造および軽量S造は建築年の新しいものほど増加している。ただし、表-4.1では軽量S造に関して1971年以前のものを全て一区分にしているため、1972-81年の棟数が最も少なくなっている。

灘区の建物の構造別被害率を図-4.4に示す。コンクリートブロック造、煉瓦造など棟数が少ない割に被害率が高いものを含むその他の構造を除けば、全壊率および全半壊率ともに、木造が最も高く、次いでS造、軽量S造、RC造と低くなっている。棟数が全体の4分の3を占める木造と残りの約半分を占めるRC造とを比較すると、木造の全壊率（52.4%）は鉄筋コンクリート造（9.3%）の約6倍となっている。

表-4.1 灘区の建物被害棟数

構造	建築年代	全壊	半壊	その他	計
木造	-1951	5,032	1,636	1,138	7,806
	1952-61	2,897	936	992	4,825
	1962-71	2,588	928	1,126	4,642
	1972-81	1,006	764	1,218	2,988
	1982-94	384	542	1,523	2,449
	計	11,907	4,806	5,997	22,710
RC造	-1951	10	5	18	33
	1952-61	30	27	125	182
	1962-71	131	123	623	877
	1972-81	126	224	906	1,256
	1982-94	57	153	1,256	1,466
	計	354	532	2,928	3,814
S造	-1951	2	1	32	35
	1952-61	11	9	121	141
	1962-71	227	92	145	464
	1972-81	185	157	288	630
	1982-94	107	203	593	903
	計	532	462	1,179	2,173
軽量S造	-1971	221	77	245	543
	1972-81	25	39	231	295
	1982-94	26	48	389	463
	計	272	164	865	1,301
その他		133	89	324	546
全建物		13,198	6,053	11,293	30,544

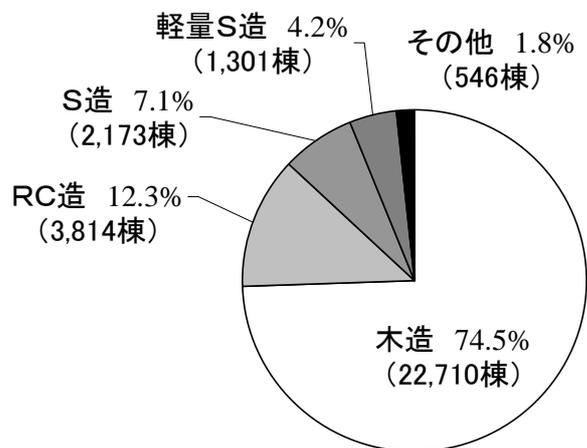


図-4.3 灘区内建物の構造別比率

第4章 灘区における建物被害のマクロ分析

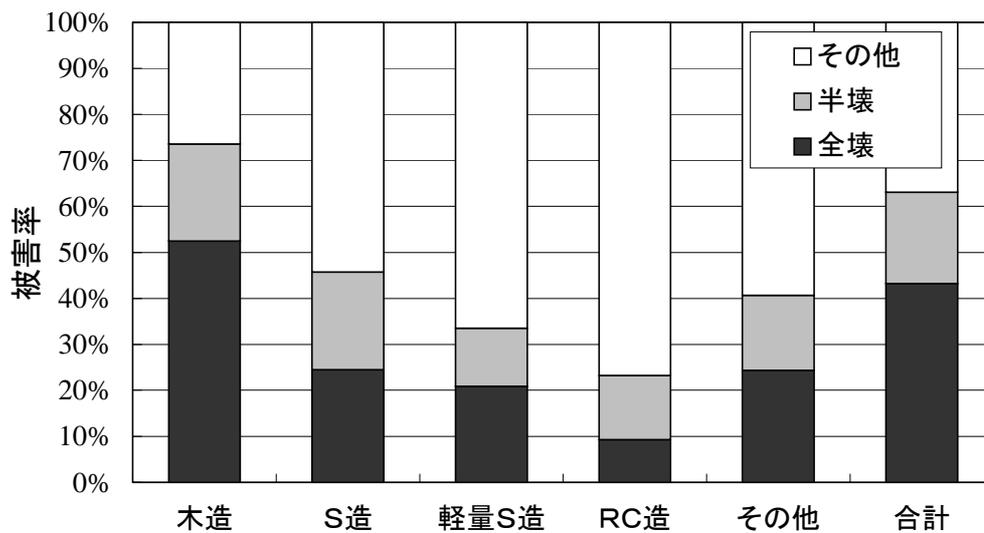


図-4.4 建物の構造別被害率

4.4 建物被害のマクロ分析

(1) 建築年代別被害分析

ここでは木造，RC造，S造および軽量S造の建築年代別の被害を分析する．非木造建物については耐震基準改正による影響を考慮し，1971年と1981年を境に10年ごとに区切り分析したが，木造建物に関しても比較検討のため同様の区分を施した．

図-4.5に木造建物の建築年代別被害状況を示す．全壊率及び全半壊率は建築年代が新しくなるとともに減少している．とくに1971年，1981年を境に全壊率の減少幅が大きくなっている．

次にRC造の建築年代別被害を図-4.6に示す．全壊率及び全半壊率は新しい建物ほど小さくなっており，木造と同様の傾向が見られる．とくに1951年，1981年を境に全半壊率の減少幅が大きくなっており，また全壊率は1971年にも大きく減少している．これらは耐震基準改正による影響かと思われる．

図-4.7にS造建物の建築年代別被害率を示す．1962年以降の建物に関しては，木造，RC造と同様に全壊率及び全半壊率が，新しい建物ほど低くなっているが，1961年以前は著しく小さい．そこで，この時期の建物分布を調べた結果，それらの多くは臨海部に位置しており，液状化の影響を強く受けている．またこの建物群の中には製鋼所の工場・倉庫などが多く含まれており，他の地域の鉄骨造と違う特性を持っていたことも考えられる．1961年以前と1962年から1971年までの建物の用途を調べてみると，1951年以前に全壊，半壊した3棟の中で2棟が居宅であり，被害のない32棟の内31棟は工場，倉庫，駐車場等であった．続いて1952年から1961年の建物の内，全壊または半壊した居宅，事務所等は全56棟中5棟(8.9%)，工場，倉庫等は85棟中15棟(17.6%)である．1962年から1971年になるとS造の居宅，事務所等が256棟とそれ以前の5倍近くに増え，その内の76.6%である196棟が全壊または半壊を受けた．工場，倉庫等の建物の中で全壊または半壊の被害を受けたのは208棟中，59.1%の123棟であった．さらに全壊を受けた建物の居宅，共同住宅，事務所，店舗等の占める割合を調べると，1961年以前に13棟中6棟と半分以下であったものが，1962年から1971年にかけては227棟中153棟となり，67.4%の占有率であった．また3階建て以上のS造建物が建てられるのは1960年代になってからであった．以上のことから全半壊率が1961年を境に大きく変わった理由として，1960年代から1970年代の高度経済成長を背景として増加した鉄骨造の住宅，事務所等が大きな被害を受け，それ以前に造られた建物の多くは低層の固定荷重の少ない工場，倉庫等が多く，被害が少なかったことなどが考えられる．

図-4.8に示した軽量S造も他の構造と同様に，古い建物ほど被害率が高いという傾向が見られる．とくに1981年を境に全壊率の減少率が大きくなっており，耐震基準改正による影響を受けているようである．この古い建物ほど被害率が高いという傾向は，杉浦・山崎(1996)による宝塚市，後藤・山崎・佐藤(1996)による芦屋市，村尾・山崎(1997b)による津名郡北淡町，後藤・山崎・若松・浅野(1997)による尼崎市，杉浦・山崎(1997)による伊丹市，山口・山崎・若松(1997)による西宮市等，他の地域でも見られる

また図-4.9から図-4.12のように各構造について，1年ごとに区分した被害率の変化も調べてみたが，ほぼ連続的に年代が古くなるほど被害率の増加が見られ，経年による劣化の影響を受けていると思われる．

(2) 建築階数別被害分析

ここでは建築階数による被害を分析した。

表-4.2 および図-4.13 に灘区における RC 造建物の階数別被害棟数と被害率を示す。全体的に 8 階建てまで階数が増すほど全壊率および全半壊率が大きくなっている。8 階以上は棟数が減少し、統計的な解釈が困難だが、低層建築に比較して全壊率および全半壊率が大きくなっている。

次に S 造建物の階数別被害棟数と被害率を表-4.3 および図-4.14 に示す。RC 造と同様に、全半壊率は、1 階建てから 5 階建てまで高さが増すほど大きくなっている。6 階建て以上の建物は棟数が少ないため統計的解釈をするのが困難である。

(3) 木造建物の屋根別被害

ここでは、木造建物の屋根別被害について分析する。全木造の屋根種別の比率は瓦葺き(18,236 棟)が全体の 80.2%を占め、次に金属葺き(2,308 棟)が 10.2%、スレート葺き(1,742 棟)が 7.7%となり、板葺き(134 棟)とガラス、ビニール等を含むその他(290 棟)の屋根がわずかに 2%弱であった。

表-4.4、図-4.15 に木造建物に関する主要な 3 種の屋根(瓦葺き、金属葺き、スレート葺き)ごとの建築年代別被害棟数および被害率を示す。総棟数で見ると、全壊率は瓦葺きが最も高く 57.2%、続いてその他 55.2%、板葺き 47.8%、金属葺き 45.1%となる。スレート葺きは 11.4%と木造の 5 分の 1 と最も低かった。建築年代ごとに見ると、どの年代においても全壊率、全半壊率は瓦葺きが最も高く、スレート葺きが最も低いという傾向が見られた。

新耐震設計法(1981 年)に定められた固定荷重と、杉山(1996)によれば、下地を含む屋根重量は瓦葺き(65~150kg/m²)、スレート(20~55kg/m²)、金属(データは主に亜鉛鉄板葺き)(5~25kg/m²)の順に軽くなり、各年代ごとで最も被害率の高い屋根の重量が最も重くなっている。しかし金属の屋根とスレートの屋根とでは被害率と重量の関係が逆転している。データからではその理由が確認できなかったが、屋根の違いによる構法の違い、あるいは屋根種の選択と建物所有者の経済的事情などが関係していると思われる。

第4章 灘区における建物被害のマクロ分析

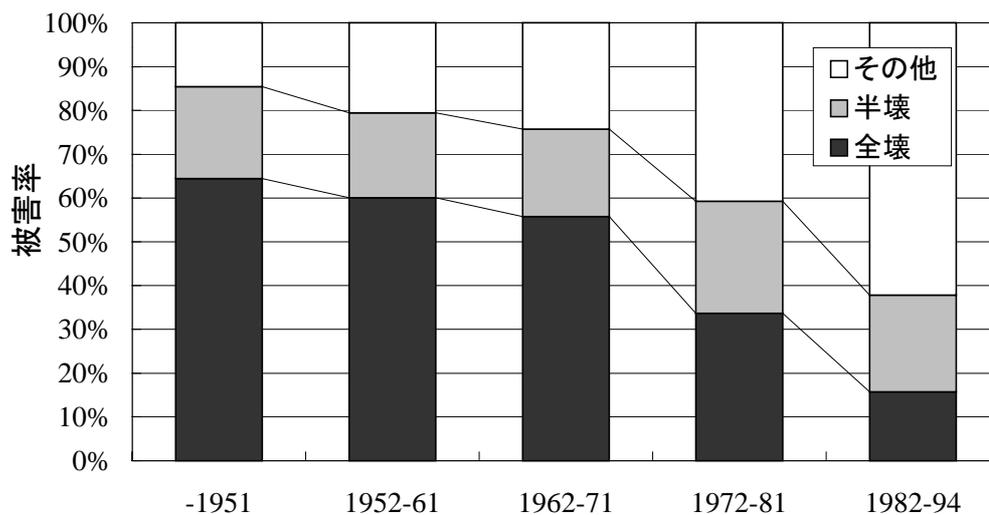


図-4.5 木造の建築年代別被害率

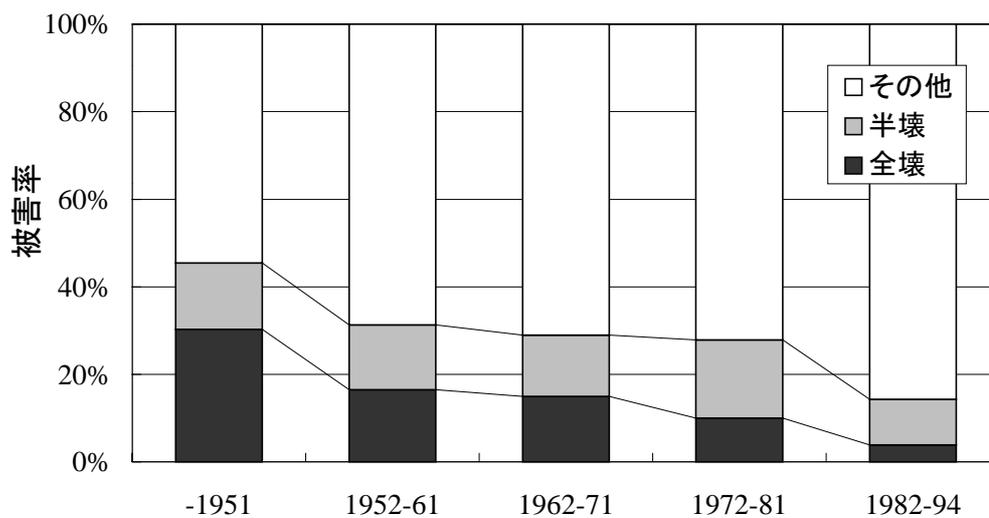


図-4.6 RC造の建築年代別被害率

第4章 灘区における建物被害のマクロ分析

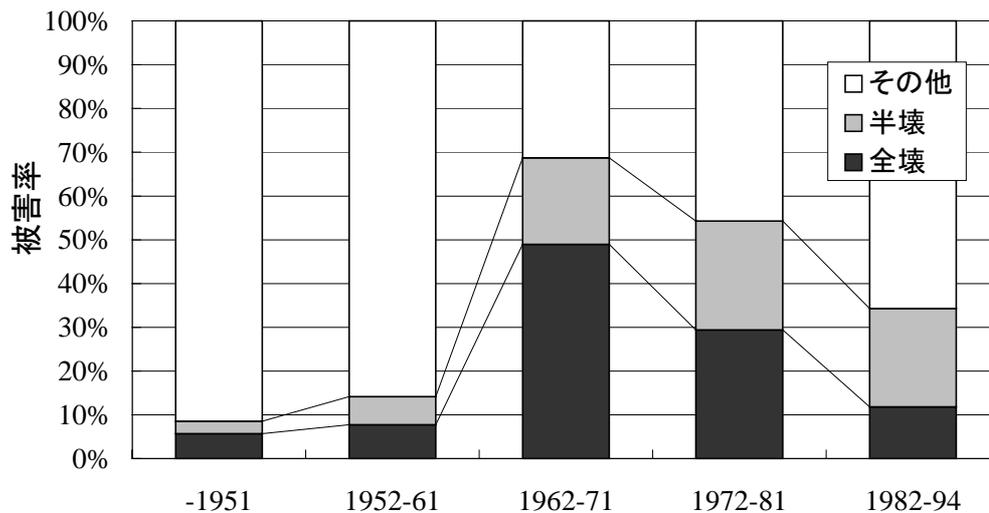


図-4.7 S造の建築年代別被害率

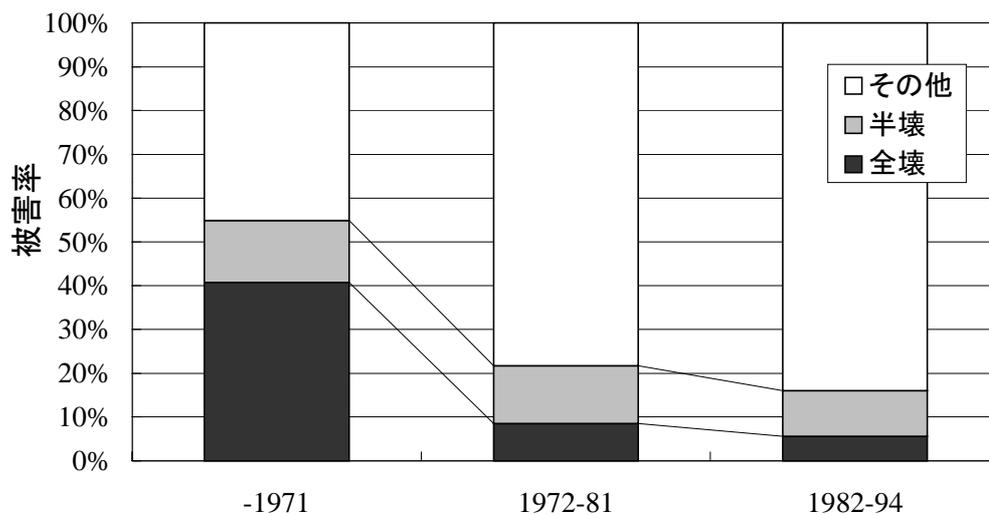


図-4.8 軽量S造の建築年代別被害率

第4章 灘区における建物被害のマクロ分析

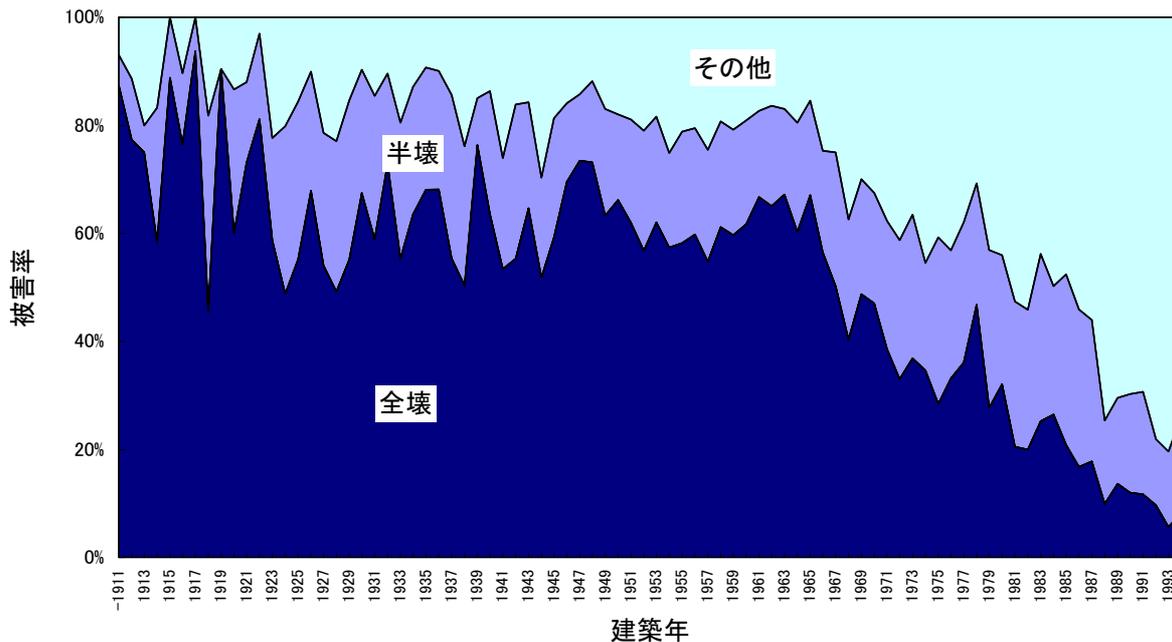


図-4.9 木造の建築年別被害率

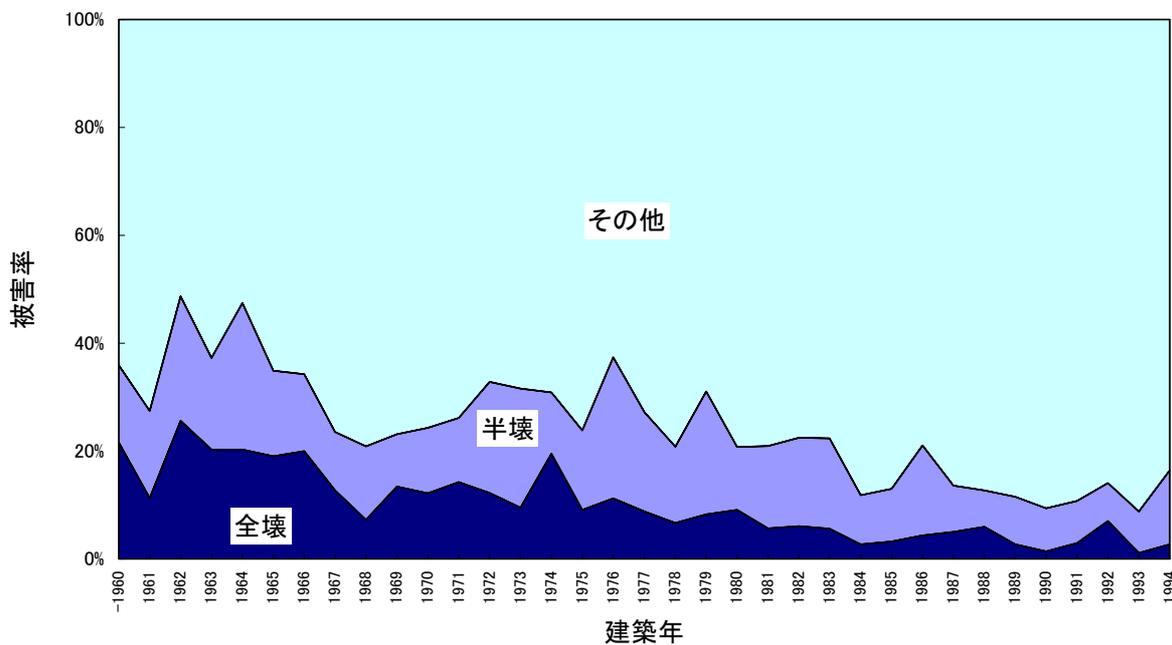


図-4.10 RC造の建築年別被害率

第4章 灘区における建物被害のマクロ分析

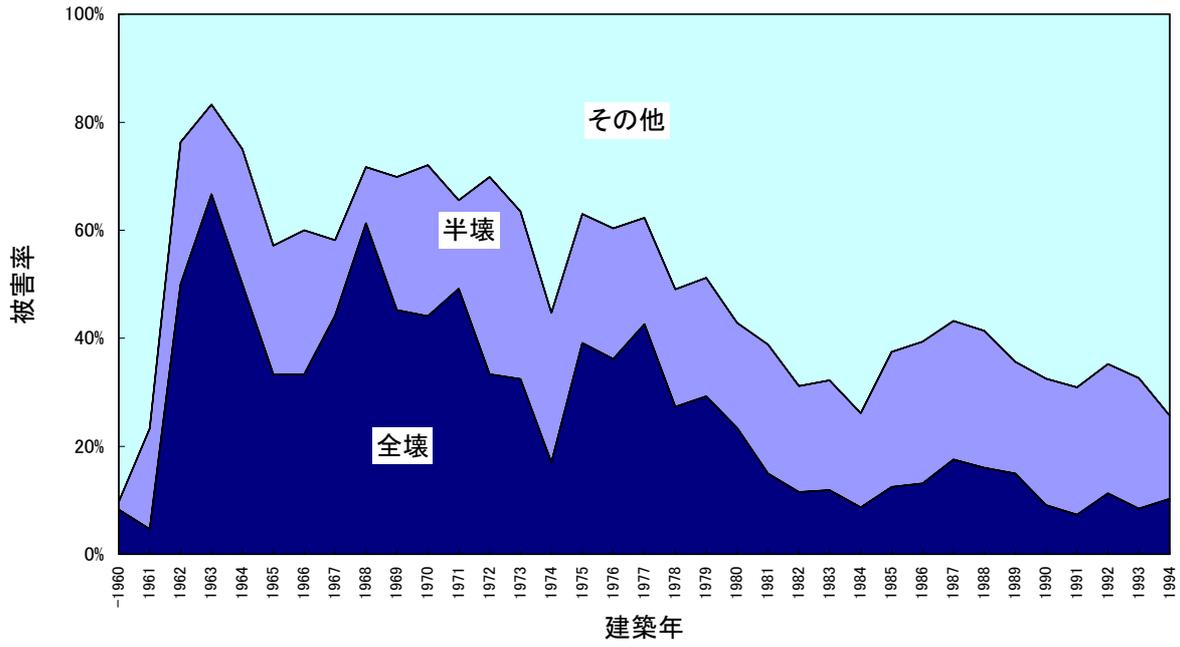


図-4.11 S造の建築年別被害率

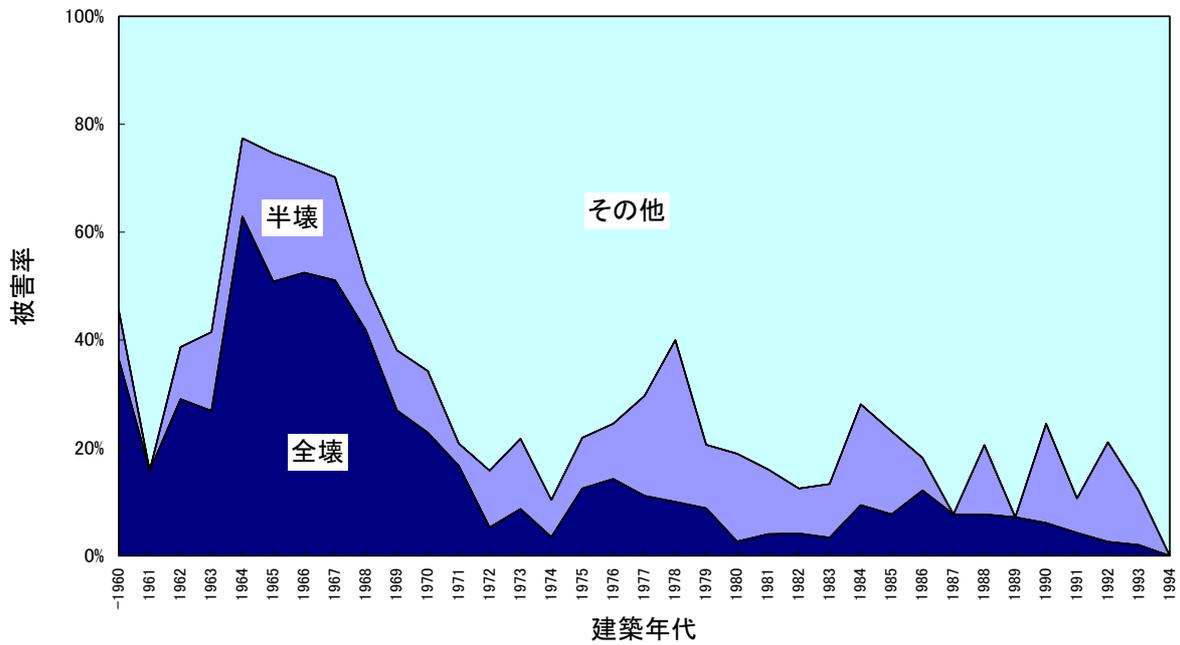


図-4.12 軽量S造の建築年別被害率

表-4.2 RC造の階数別被害棟数

建物階数	全壊	半壊	その他	計
1F	70	119	584	773
2F	52	59	540	651
3F	53	102	720	875
4F	76	82	561	719
5F	55	78	330	463
6F	21	48	94	163
7F	9	21	53	83
8F	11	15	17	43
9F	3	4	12	19
10F	2	3	12	17
11-14F	2	1	5	8
計	354	532	2928	3814

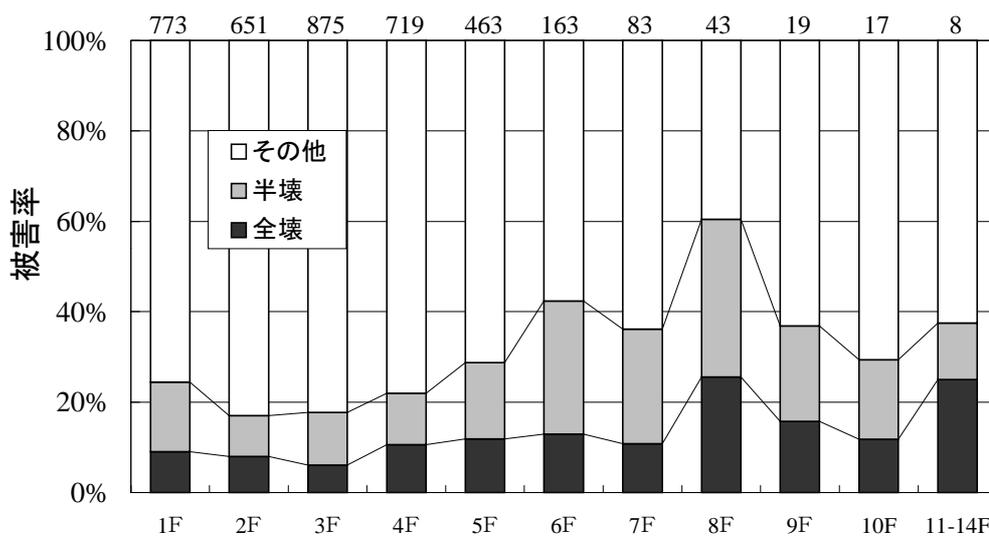


図-4.13 RC造の階数別被害率

表-4.3 S造の階数別被害棟数

建物階数	全壊	半壊	その他	計
1F	77	41	358	476
2F	131	75	262	468
3F	207	229	412	848
4F	78	86	122	286
5F	28	20	14	62
6F	6	7	9	22
7F	1	3	1	5
8F	1	0	1	2
9F	3	1	0	4
計	532	462	1179	2173

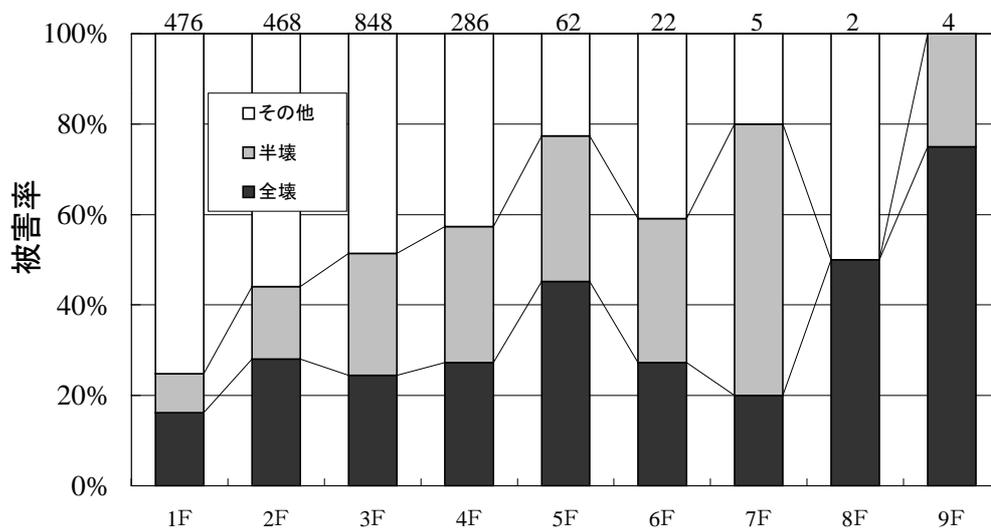


図-4.14 S造の階数別被害率

表-4.4 木造の屋根種別・建築年代別被害棟数

建築年代	屋根種別	全壊	半壊	被害なし	計
-1951	瓦	4467	1471	1021	6959
	金属	441	128	222	791
	スレート	23	13	67	103
1952-61	瓦	2572	830	749	4151
	金属	253	84	237	574
	スレート	24	10	33	67
1962-71	瓦	2226	776	773	3775
	金属	286	121	329	736
	スレート	22	16	59	97
1972-81	瓦	887	612	890	2389
	金属	54	31	81	166
	スレート	50	111	252	413
1982-	瓦	291	371	645	1307
	金属	7	11	53	71
	スレート	80	159	844	1083
合計	瓦	10443	4060	4078	18581
	金属	1041	375	922	2338
	スレート	199	309	1255	1763

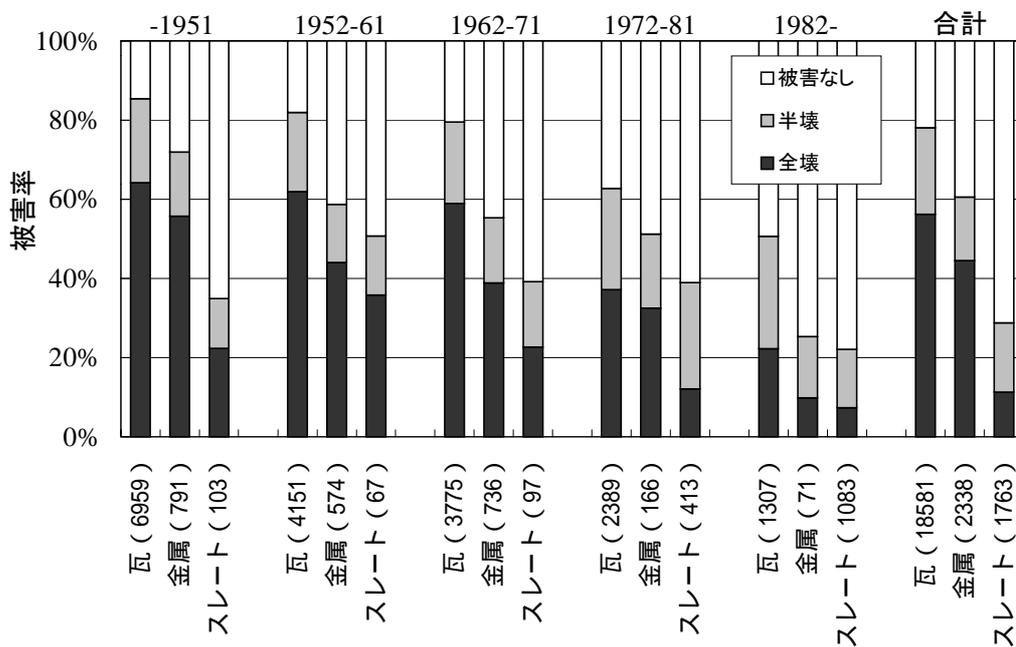


図-4.15 木造の屋根種別・建築年代別被害率

4.5 GISを用いた建物被害分析

次に、灘区内の山麓部を除く 350 町丁目を対象として、地理情報システム（GIS）を用いた建物被害分析を行う。

（2）建物の分布と被害の状況

図-4.16 から図-4.18 は主要構造（木造，RC 造，S 造）別の棟建物数分布である。灘区における建物の約 3/4（図-4.3 参照）を占める木造は、臨海部を除き広範囲に分布しているのに対して、RC 造および鉄骨造は 50 棟以下の町丁目が大半を占めている。

町丁目ごとの構造別全壊率を図-4.19 から図-4.21 に示す。木造全壊率が 60%以上の町丁目は全体の 52%にあたる 182 町丁目であり、棟数の著しく少ない臨海部を除いた南部から阪急電鉄にかけての地域に広がっており、阪急電鉄の北側では全壊率 20%未満の地域が急増している。鉄骨造および RC 造の全壊率 60%以上の地域は、それぞれ 8 町丁目、46 町丁目と木造に比べて著しく少ないが、どの構造においても、臨海部以北より阪急電鉄までの東西方向の帯状地域で被害率が高いという傾向が見られた。それぞれの構造について全壊率の分布が類似しているということから、第5章において地震動を推定するうえで、最も棟数の多い木造建物の被害率を用いることが最も有効であることがわかる。

次に建物全壊率の分布と兵庫県南部地震により発生した死者の関係について調べる。神戸市（1996b）の統計によれば、兵庫県南部地震による灘区内の死亡者は 924 人であり、神戸市内では東灘区（1,461 人）について二番目に大きかった。今回調査した 350 町丁目の中では、約 46%の 160 町丁目で死者が発生しており、最も多かったのは琵琶町 1 丁目の 40 人であった。図-4.22 に神戸市（1991）の各町丁目の人口を基に作成した町丁目ごとの死者発生率を示す。ただし新しく生まれた町である大月台については、平成 7 年版国勢調査を使用した。死者発生率の高い地域は臨海部以北から阪急電鉄に挟まれた帯状の地域であり、全壊率の高かった地域と同様の傾向を示している。

（3）木造建物の微地形区分別被害

兵庫県南部地震における各種構造物の被害分布が微地形と密接に関係していたことが、吉岡・宮地・寒川・下川・奥村・水野・松村（1995）により指摘されている。本章では国土地理院（1966，1996）による土地条件図にもとづき、被害の著しく小さかった山麓部及び液状化による影響が大きい臨海部を除いた地域を、図-4.23 のように町丁目単位で 6 種の微地形に区分し、木造建物の被害率と微地形（土地条件）との関係を調べた。その結果を図-4.24 に示す。この中で、微地形区分は左より右に向かって標高の高い順に配列しているが、これは表層の堆積物の粒径とも対応しており、左より順次細粒な堆積物に移行している。

台地・段丘の全壊率および全半壊率を見ると、地質年代の若い低位面の方が上位面よりも高い被害率となっている。また低位面の台地・段丘上には小河川に沿って浅い谷が分布していることから、ここでは谷部分とそれ以外の一般面を区別して示している。両者における全壊率および全半壊率を比較すると、浅い谷が一般面よりも高い被害率となっており、谷地形もしくはこれに起因する表層の地盤条件の違いが建物の全半壊率に大きく影響していることが窺われる。

さらに沖積低地についても比較すると、扇状地、緩扇状地、海岸平野・三角州の順に全半壊率（とくに全壊率）が大きくなっており、標高が高く粗粒な砂礫で構成されている扇状地より、細粒の砂ないし粒土で構成されている海岸平野・三角州の方が全半壊率が高いことがわかる。

沖積低地上の被害率が台地・段丘と比較して、必ずしも大きくなっていない理由として、地震動の大きさが被害率に影響していたことなどが考えられる。

（4）建築研究所との全壊率判定の比較

本章で用いた神戸市の調査データと震災復興都市づくり特別委員会（1995）による建物被害調査をもとにした建設省建築研究所（1996）のデータを、町丁目ごとの木造建物の全壊率で比較したものを図-4.25 に示す。建築研究所データには、構造種別による分類がされていないため、低層住宅（2階以下）という分類を木造と仮定し、神戸市調査データの全壊率と比較している。灘区のデータは固定資産税減免を目的とした神戸市による建物被災度調査にもとづくもので、「住宅が滅失したもの・あるいは、補修しても家屋として再使用することが困難なもの。（損害の程度が50%以上）」（神戸市罹災証明）を全壊と定義している。一方、建築研究所の用いたデータの判定基準は第2章で説明したようにそれとは異なっているため、「倒壊あるいは大破」を全壊として比較した。図4-25はこのような判定基準の違いを示しており、全体的に本章で用いた神戸市調査による被害データの方が、建築研究所データよりも高い全壊率となっていることがわかる。これは第2章および第3章で得た結果と一致する。図中、一部判定基準が逆になっている町丁目があるが、これらは主に臨海部の建築棟数が少ない地域で、それぞれの母集団の棟数の少なさの影響が大きくなってしまった結果と思われる。

第4章 灘区における建物被害のマクロ分析

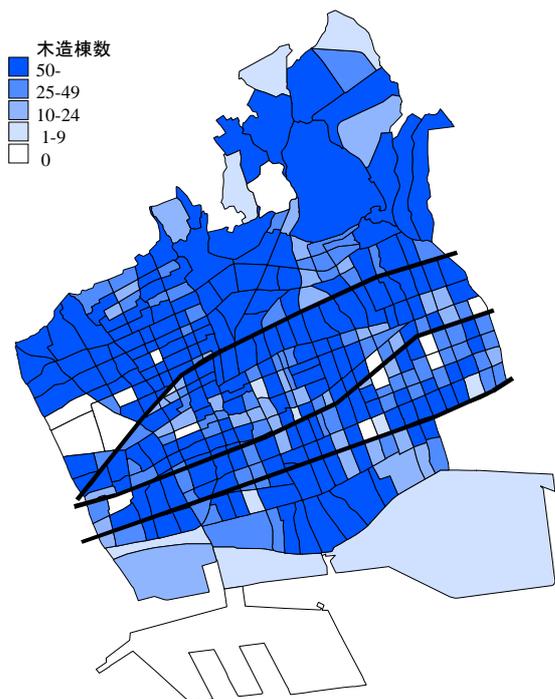


図-4.16 町丁目ごとの木造棟数分布

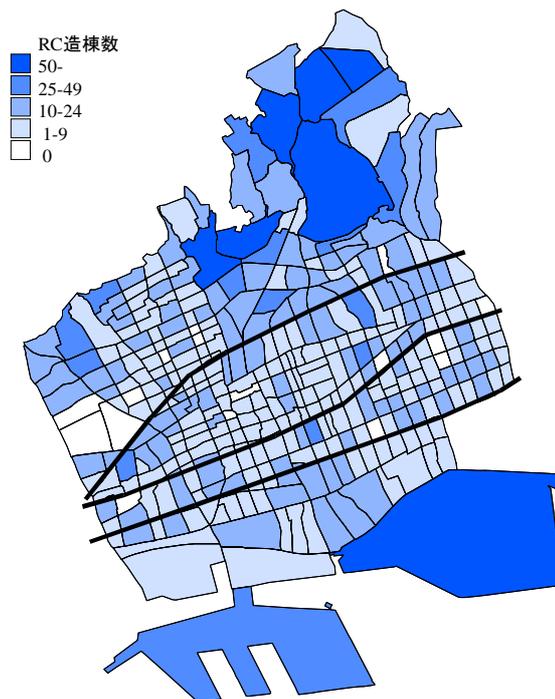


図-4.17 町丁目ごとのRC造棟数分布

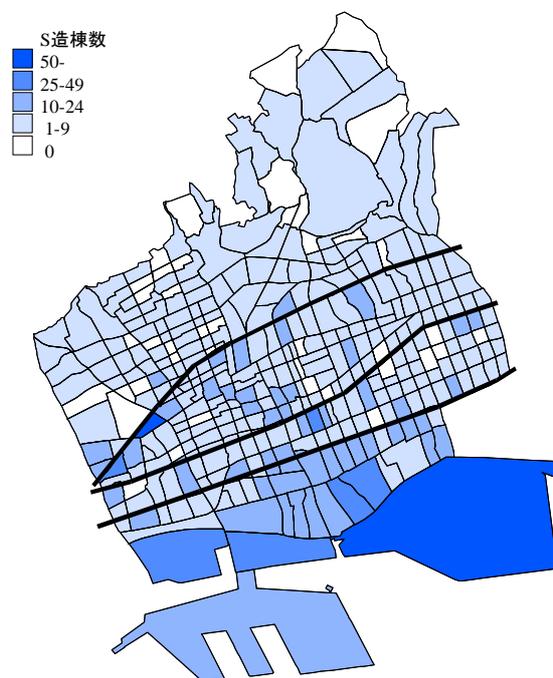


図-4.18 町丁目ごとのS造棟数分布

第4章 灘区における建物被害のマクロ分析

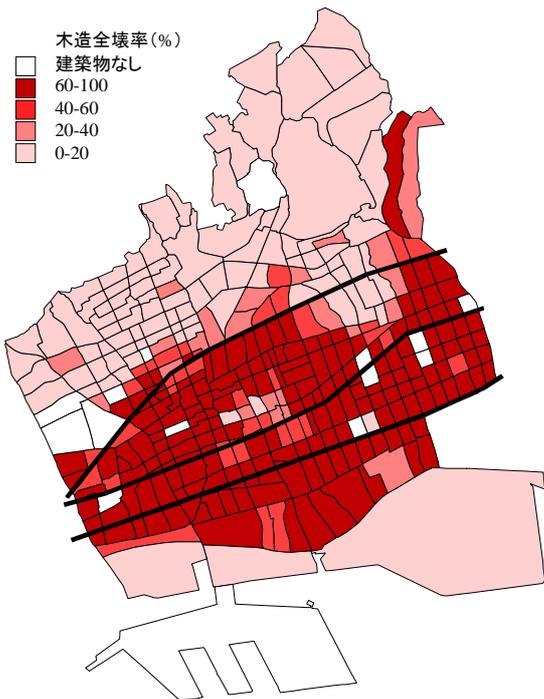


図-4.19 町丁目ごとの木造全壊率

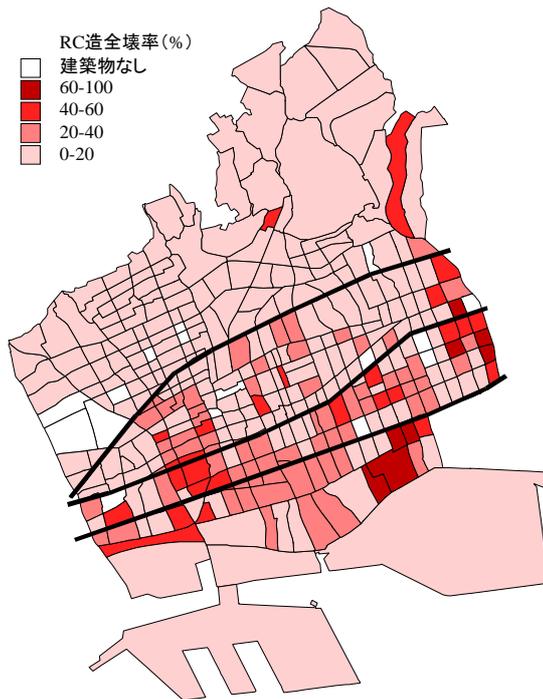


図-4.20 町丁目ごとのRC造全壊率

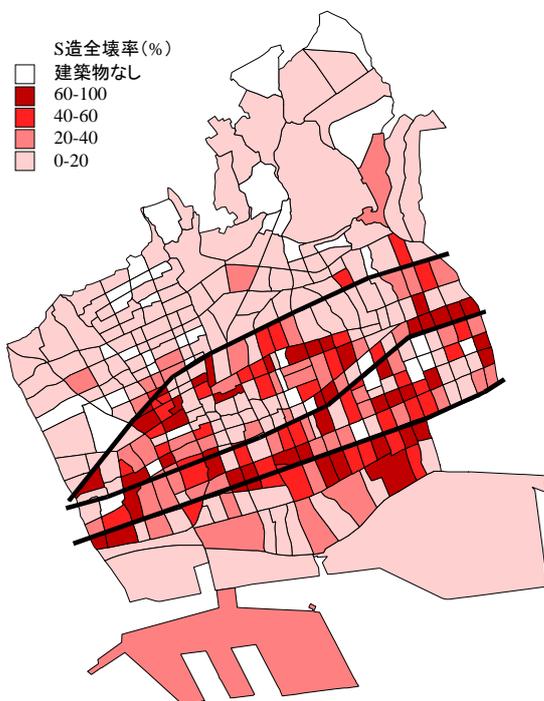


図-4.21 町丁目ごとのS造全壊率

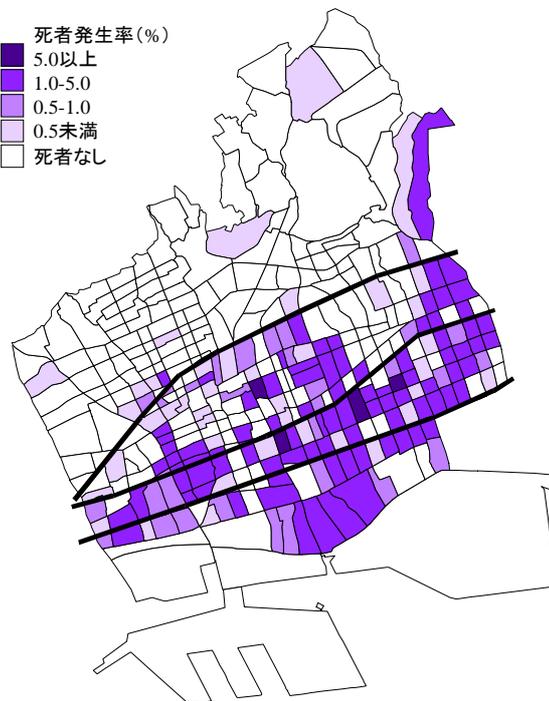


図-4.22 町丁目ごとの死者発生率

第4章 灘区における建物被害のマクロ分析

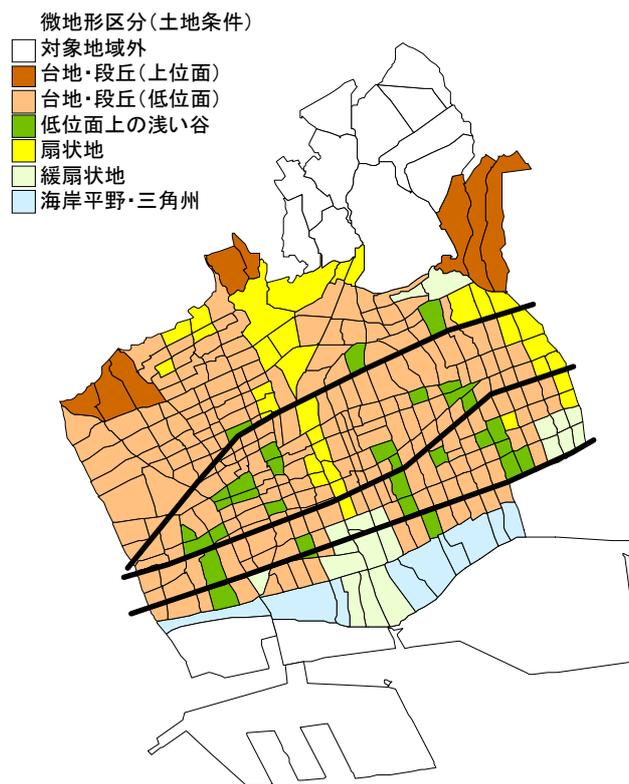


図-4.23 町丁目ごとの微地形区分(土地条件)

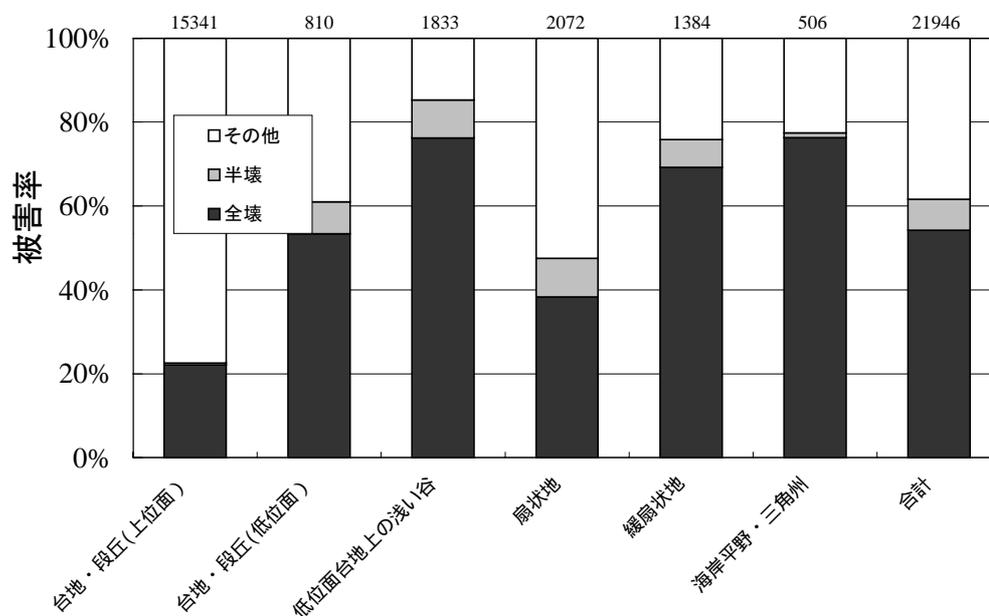


図-4.24 木造建物の微地形区分別被害率

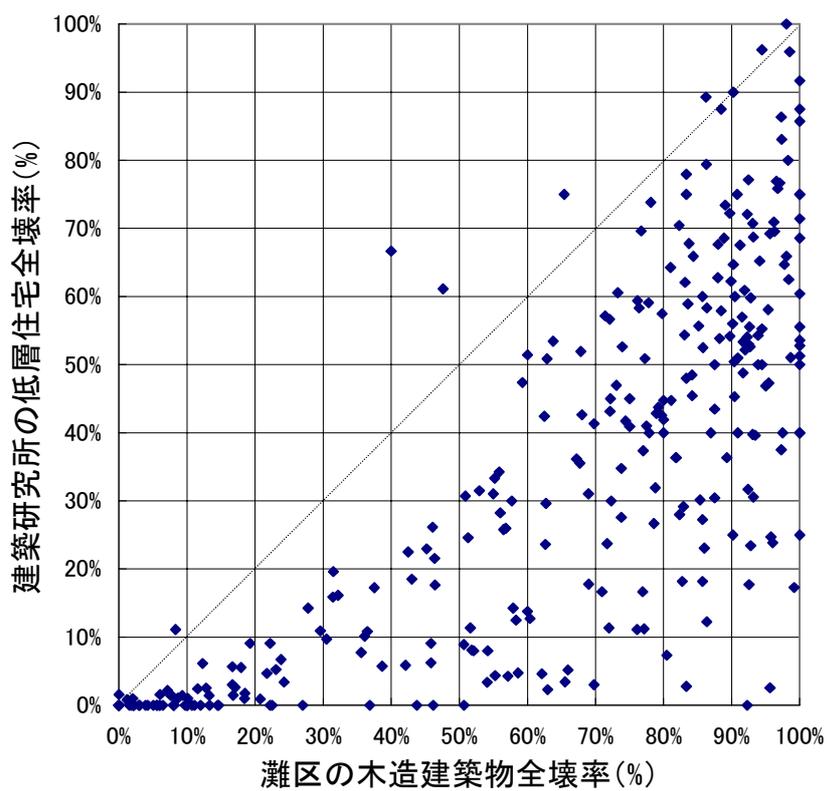


図-4.25 建設省建築研究所（1996）データと神戸市調査データの町丁目別全壊率判定の比較

4.6 まとめ

本章では灘区における建物被害のマクロ分析を行った。その結果、構造別の全半壊率はレンガ造が最も高く、続いて木造、鉄骨鉄筋コンクリート造、鉄骨造、軽量鉄骨造、コンクリートブロック造、鉄筋コンクリート造の順であった。各構造ごとの建築年代および建築年別の被害率は、どの構造においても、一部の例外を除いて建築年代が新しいほど小さくなる傾向が見られた。また耐震基準の改正による影響も見られた。建物の階数別の被害分析では、鉄骨造、鉄筋コンクリート造とも高層になるほど被害率が高かった。木造建物の屋根別の被害は、どの建築年代においても重量の大きい瓦葺きが最も大きかったが、スレート葺きと金属葺きとでは被害率と屋根重量との関係が逆転していた。データからではその理由が確認できなかったが、屋根の違いによる構法の違い、あるいは屋根種の選択と建物所有者の経済的事情などが関係していると思われる。

また GIS を用いた灘区の建物被害分析も行った。木造建物は RC 造、鉄骨造と比較して棟数が多く、広い地域に分布している。どの構造においても、全壊率の高い地域はいわゆる「震災の帯」上に広がっているという傾向が確認された。これらは地震動の分布を推定するための尺度として、木造建物の被害率が有効に用いられる可能性を示している。また全壊率の高い地域で死者発生率も高いという傾向が見られた。木造建物の被害率と微地形（土地条件）との関係を調べた結果、台地・段丘上では上位面、低位面、浅い谷の順に、また沖積低地においては扇状地、緩扇状地、海岸平野・三角州の順に、木造建物の全半壊率（とくに全壊率）が大きかった。このことから表層の地盤条件の違いが建物の全半壊率に大きく影響していることが窺われた。ただし、地震動の大きさによる影響も大きいと思われる。さらに本章で用いた減免用被災度調査データと建築研究所データを、各町丁目ごとの全壊率に関して比較した。その結果、神戸市調査データの方が、建築研究所データよりも判定基準が緩くなっていることが確認された。