

第5編 建物関係の想定	5-1
5.1 概要.....	5-1
5.1.1 揺れによる被害.....	5-1
5.1.2 液状化による被害.....	5-1
5.1.3 津波による被害.....	5-1
5.1.4 斜面崩壊による被害.....	5-1
5.2 建物データ.....	5-2
5.3 予測手法.....	5-6
5.3.1 揺れによる建物被害の想定.....	5-6
5.3.2 液状化による建物被害の想定.....	5-9
5.3.3 津波による建物被害の想定.....	5-10
5.3.4 斜面崩壊による建物被害の想定.....	5-11
5.4 被害予測結果.....	5-12
5.4.1 揺れ・液状化による被害.....	5-13
5.4.2 津波による被害.....	5-14
5.4.3 斜面崩壊による被害.....	5-14
【参考文献】	5-18

第5編 建物関係の想定

5.1 概要

5.1.1 揺れによる被害

揺れによる建物の被害を、過去事例に基づき作成した被害率曲線により、構造・建築年代・階数に応じて、財産価値の損失である全壊・半壊棟数別に算定した。

5.1.2 液状化による被害

液状化した領域における建物の被害を、過去事例や杭打ちの状況等を踏まえ、構造・建築年代・階数に応じて、全壊・半壊棟数別に算定した。

5.1.3 津波による被害

浸水深と建物構造との関係から、全壊・半壊・床上浸水・床下浸水棟数を算定した。

5.1.4 斜面崩壊による被害

最近 20 年間に急傾斜地・地すべり地で被害をもたらした 18 地震（1987 年日向灘地震から 2005 年福岡県西方沖地震まで）の被害事例により、危険箇所における人家戸数に応じて全壊戸数を算定した。

5.2 建物データ

建築物の現況については、以下の主な資料及びデータを整理した。これらの建物データを整理して、①～⑨の項目でデータを再検討し、被害予測に用いる最終的なデータセットを求めた。市町村別の建物棟数を表 5-2 と図 5-1 に示す。

表 5-1 建物現況データ

	主な資料及びデータ名称	年月日
1	固定資産税による建物データ（大分県市町村）	平成 19 年 3 月現在
2	大分県住宅・土地統計調査（総務省統計局）	平成 15 年 10 月 1 日

- ① 構造区分、年代、用途区分および年代コードの統一
- ② 建物として被害予測するため、床面積 10m² 未満のデータの削除
- ③ 用途区分で車庫、自転車置場、物置、廊下、通路、集荷場、井戸屋形などのデータを削除
- ④ 区分所有（マンション等）のデータの処理
- ⑤ 町丁目へ建物棟数の振り分け
- ⑥ 町丁目ごとの構造、年代、階数別建物データの作成
- ⑦ 町丁目ポリゴンと 250m メッシュの面積変換テーブルの作成
- ⑧ 250m メッシュごとの世帯数・道路延長分布から建物データ重みの作成
- ⑨ 町丁目ごとの建物データを 250m メッシュに振り分け

表 5-2 市町村別建物棟数

市町村	合計	木造	非木造
大分市	168,800	130,300	38,600
別府市	53,300	39,400	13,900
中津市	60,900	51,900	9,000
日田市	54,700	47,700	7,000
佐伯市	53,400	47,100	6,300
臼杵市	24,600	19,800	4,800
津久見市	15,100	12,700	2,400
竹田市	24,900	22,100	2,900
豊後高田市	18,700	17,300	1,300
杵築市	25,200	22,000	3,100
宇佐市	45,400	40,100	5,300
豊後大野市	41,600	36,700	5,000
由布市	24,700	21,600	3,100
国東市	34,500	31,100	3,500
姫島村	2,200	2,100	100
日出町	16,600	13,100	3,500
九重町	12,400	10,600	1,800
玖珠町	16,600	14,400	2,200
合計	693,700	580,000	113,700

※1：端数処理により合計値が異なる場合がある

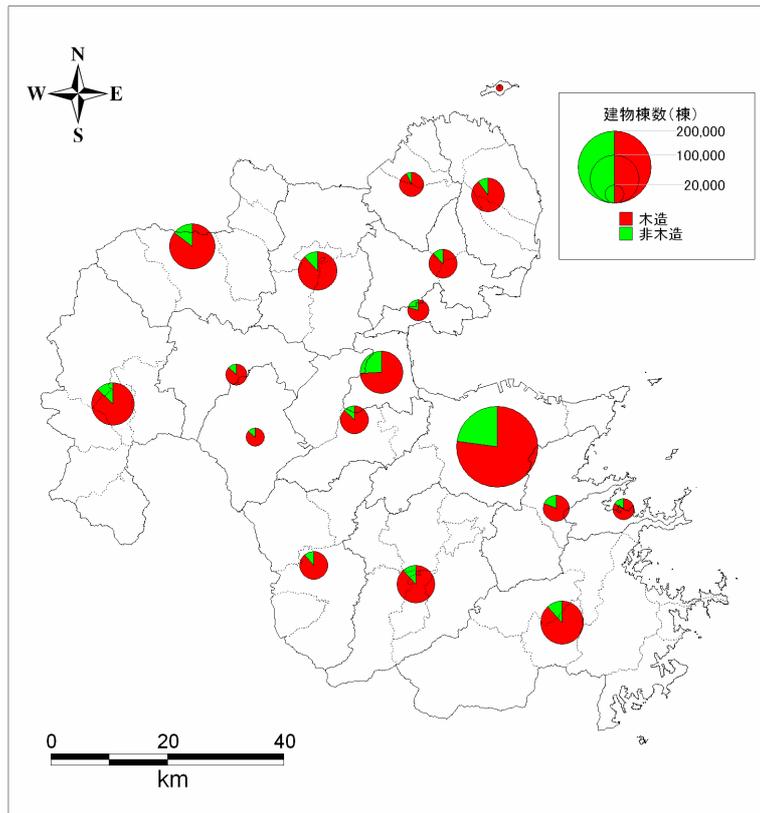


図 5-1 市町村別建物棟数分布

本調査における建物の被害予測は、財産価値の損失である全壊・半壊（自治体基準と呼ばれる）で求めた（表 5-3）。構造的な被災である大破・中破（日本建築学会による判定基準）についての定義を表 5-4 に示した。また、これらの被災度を比較した結果を図 5-2 に示した。自治体基準による全壊は、日本建築学会による基準では被害軽微以上となることが分かる。

表 5-3 全壊・半壊の定義

被災度	判定基準
全壊 (全焼・全流出)	住家はその住居のための基本的機能を喪失したもの、すなわち、住家全部が倒壊、流失、埋没、焼失したもの、または住家の損壊が甚だしく、補修により元通りに再使用することが困難なもので、具体的には住家の損壊、焼失もしくは流失した部分の床面積がその住家の延床面積の 70%以上に達した程度のも、または住家の主要構造要素の経済的被害を住家全体に占める損害割合で表し、その住家の損害割合が 50%以上に達した程度のもとする。
半壊	住家はその住居のための基本的機能の一部を喪失したもの、すなわち、住家の損害が甚だしいが、補修すれば元通りに使用できるもので、具体的には、損壊部分が、その住家の延床面積の 20%以上 70%未満のも、または住家の主要な構造要素の経済的被害を住家全体に占める損害割合で表し、その住家の損害割合が 20%以上 50%未満のもとする。
一部損壊	全壊および半壊に至らない程度の住家の破損で、補修を必要とする程度のもとする。ただし、ガラスが数枚破損した程度のごく小さなものは除く。

表 5-4 大破・中破等の定義

被災度	構造別被害状況		
	木造	RC造	S造
倒壊	屋根・壁・床・柱等の破損が全面にわたり、建物の変形が著しい。周辺地盤の崩壊により、建物の変形が著しい。	柱・耐力壁が大破壊し、建物全体または建物の一部が崩壊にいたったもの。	復元力喪失
大破	大部分の壁・垂れ壁が破損し、内外装材がほとんど脱落している。筋交いが破損し、柱・梁に割れが生じ、床が破損している。	柱のせん断ひび割れ・曲げひび割れによって鉄筋が露出・座屈し、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もの。	残留部材角 1/30 以上
中破	大部分の壁・垂れ壁・腰壁にひび割れが生じ、一部が脱落している。大部分の屋根瓦が破損している。基礎のひび割れが著しい。	柱に典型的なせん断ひび割れ・曲げひび割れ、耐力壁にせん断ひび割れが見られ、RC二次壁・非構造体に大きな損傷が見られるもの。	残留部材角 1/30 未満
小破	大部分の煉瓦および一部の屋根瓦が破損している。一部の壁にひび割れが生じている。一部の仕上げ材が脱落している。基礎の一部にひび割れが生じている。	柱・耐力壁の損傷は軽微であるが、RC二次壁・階段室の周りに、せん断ひび割れが見られるもの。	残留変形がほとんどなし。筋交い破断。柱脚破損など。
被害軽微	一部の屋根瓦に損傷が見られる。一部の垂れ壁・腰壁・仕上げ材にひび割れが生じている。	柱・耐力壁・二次壁の損傷が、軽微かもしくは、ほとんど損傷がないもの。	主要構造体被害なし。仕上げ材損傷。
無被害	外観上被害がまったくない。		外観上被害がまったくない。

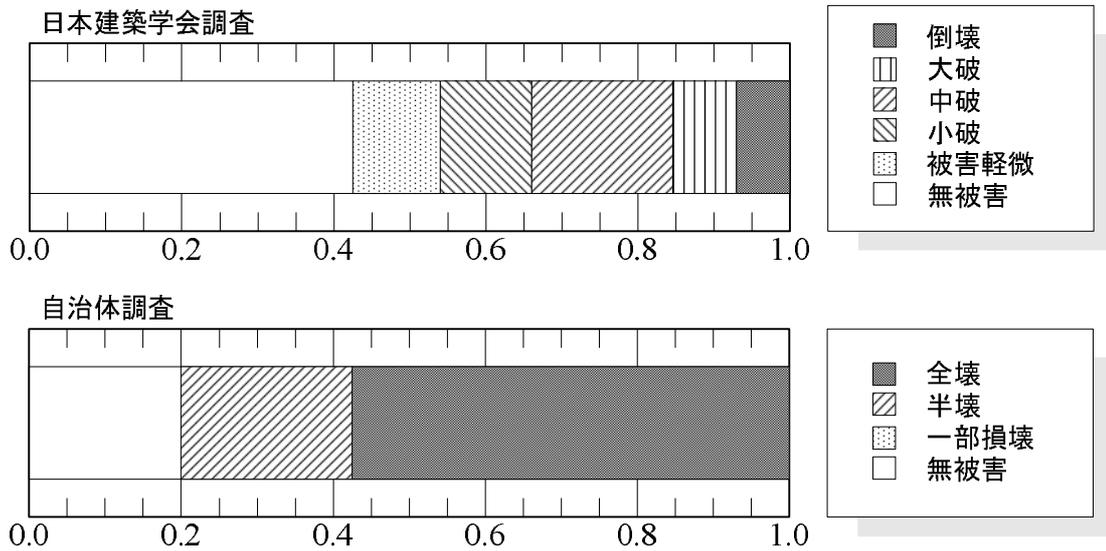


図 5-2 自治体調査による被災度と日本建築学会調査による被災度の比較

5.3 予測手法

5.3.1 揺れによる建物被害の想定

(1) 基本方針

本調査では、阪神・淡路大震災での建物被害の実態を考慮して構築された経験的な被害予測式を利用して、木造、RC造（SRC造を含む）、S造、軽量S造、軽量S造プレハブの5種類別に、建築年代別の構成を考慮しつつ、250mメッシュ単位及び行政区単位で全壊棟数、半壊棟数を予測した。

(2) 利用する被害率予測式

建物の地震動（揺れ）による被害率曲線はいくつか提案されているが、最近、最も精細に評価し、広域での適用もされている手法である、愛知県(2003)で設定された被害率曲線を用いる。これは、1995年兵庫県南部地震における神戸市灘区での被害事例をもとにして設定された、宮越・林(1998)による構造・建築年代・階数別の最大地表速度を指標とした被害率曲線に対して、下限値の設定及び最大速度50cm/s程度以下での建物被害率の修正がなされたものである。

被害率曲線は、次式による対数正規累積分布関数に基づいて設定されている。

$$P(PGV) = \Phi((\ln PGV - \lambda) / \zeta)$$

P：被害率 PGV：最大地動速度(cm/s) Φ ：標準正規分布関数
 λ, ζ ：被害率曲線を特徴づける係数

図5-3～図5-6に地表最大速度と各構造の大破・中破以上率との関係を示す。

採用する式は構造的な判定基準（大破・中破）による被害をあらわしているため、罹災証明などに用いられる全壊・半壊は長崎県（2006）に基づき以下のようにして換算する。

$$\text{大破以上率} = 0.5 \times \text{全壊率}$$

$$\text{中破以上率} = 0.5 \times \text{全半壊率} \quad (\text{ここで、全半壊率} = \text{全壊率} + \text{半壊率})$$

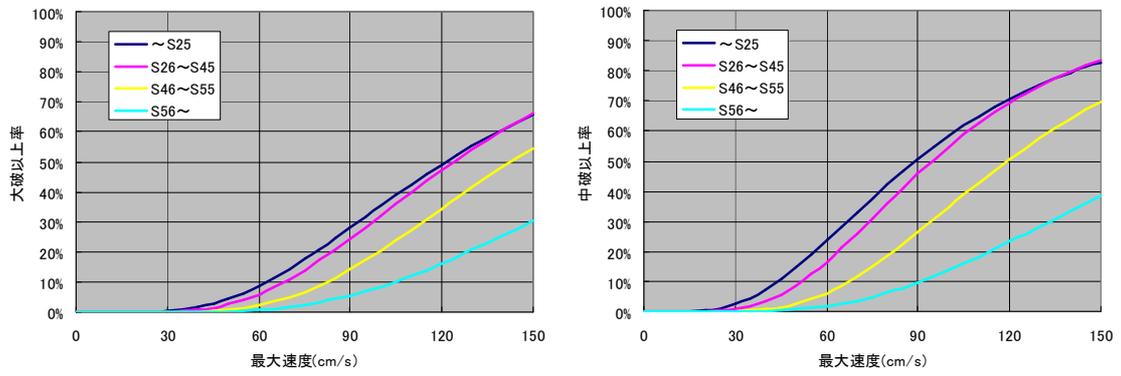


図 5-3 木造建物の大破率・中破以上率に対する被害率曲線

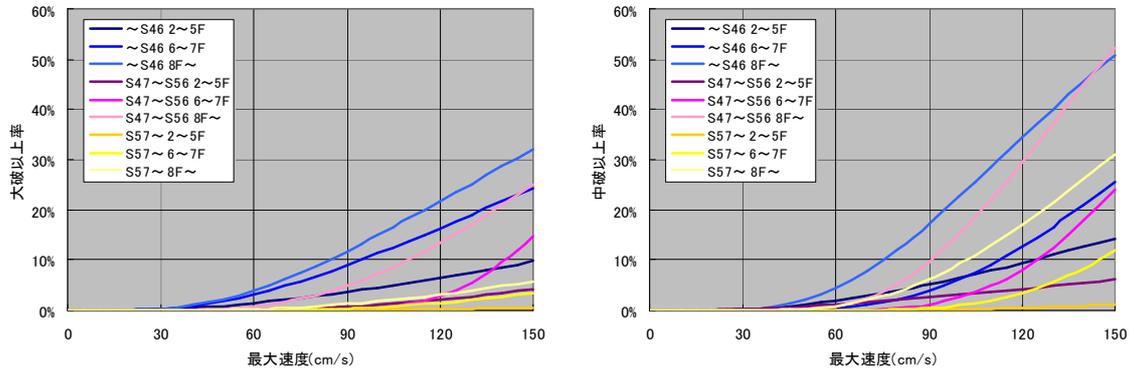


図 5-4 鉄筋コンクリート造建物の大破率・中破以上率に対する被害率曲線

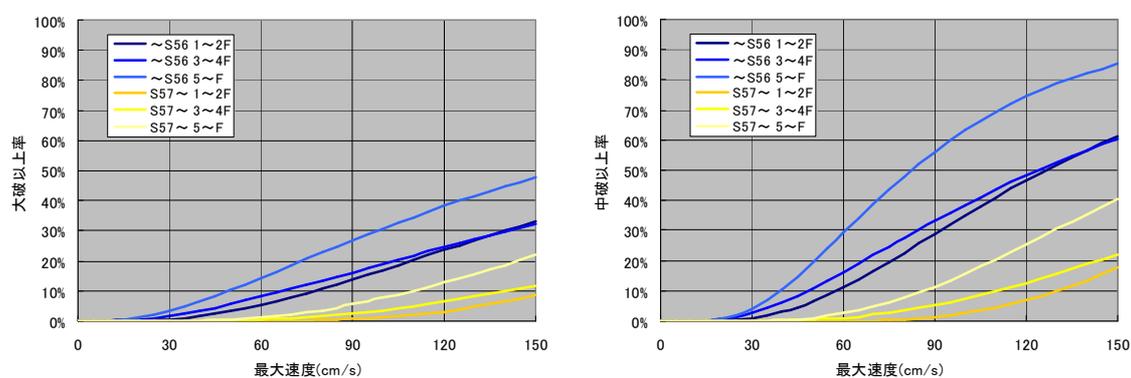


図 5-5 鉄骨造建物の大破率・中破以上率に対する被害率曲線

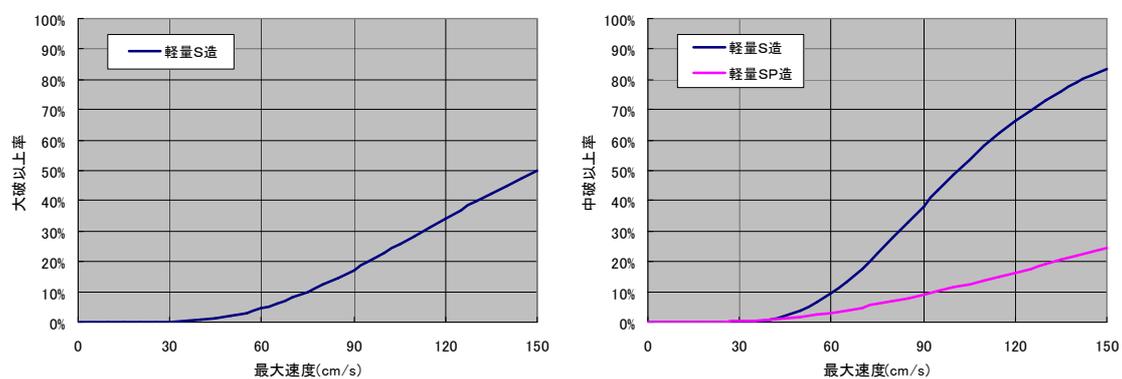


図 5-6 軽量鉄骨造(S造)、軽量鉄骨プレハブ造(SP造)の大破率・中破以上率に対する被害率曲線

5.3.2 液状化による建物被害の想定

(1) 基本方針

「地盤の液状化危険度」毎に「液状化による建物被害率」を設定するという経験手法を用いることとする。木造、非木造建物の2区分毎に被害予測を行うこととし、また、建物の基礎様式の違いによって、液状化被害率が異なることが明らかになっており、本想定でもこの要因を考慮することとする。

(2) 被害率の設定

液状化した領域における建物の被害を過去事例や杭打ちの状況等を踏まえ、構造・建築年代・階数に応じて、全壊・半壊棟数別に算定した。

(液状化による全・全半壊棟数)

$$= (\text{建物棟数}) \times (\text{液状化による全・半壊率}) \times (\text{液状化発生面積率})$$

表 5-5 液状化面積率 (東京都, 1997)

P_L の範囲	$P_L=0$	$0 < P_L \leq 5$	$5 < P_L \leq 15$	$15 < P_L$
液状化面積率	0%	2%	5%	18%

液状化が発生した場合の被害率は静岡県(2001)と同様に、1923年関東地震(関東大震災)、1964年新潟地震、1983年日本海中部地震の被害事例をもとに設定した。木造建物は建築年代により、また、非木造建物は杭の有無により、被害率が異なることとした。液状化による建物全半壊率を次のように設定した。

表 5-6 液状化による木造建物全半壊率

区分	昭和 35 年以前築造	昭和 36 年以降築造
全壊率	13.3%	9.6%
半壊率	12.9%	18.0%

表 5-7 非木造建物の被害率液状化による非木造建物全半壊率 (静岡県, 2001)

区分	杭なし	杭あり*
全壊率	23.2%	0.0%
半壊率	29.7%	0.0%

* 4階以上の建物および昭和56年以降築造の1～3階建物の20%とする

5.3.3 津波による建物被害の想定

(1) 基本方針

東南海・南海地震発生時には、大分県には津波が押し寄せることが予想される。大分県は平成16年に津波浸水予測を行っており津波浸水高を予測している。そこでの調査結果と本調査で整理した建物・人口データを重ね合わせ被害を算出した。

(2) 被害率の設定

浸水深（地盤標高からの水深）と建物被害の関係については、既往地震津波について検討した津波高と被害の関係（首藤伸夫：「津波工学研究報告第9号」，平成4年3月（表5-9参照））に基づき、表5-8の通り被害を設定した。

表5-8 浸水深と被害の関係

被害区分	浸水深	
	木造	非木造
全壊	2.0m ≤ H	—
半壊	1.0m ≤ H < 2.0m	—
床上浸水	0.5m ≤ H < 1.0m	0.5m < H
床下浸水	H < 0.5m	H < 0.5m

表5-9 津波高と被害程度（首藤、1992）

津波強度		0	1	2	3	4	5
津波高(m)		1	2	4	8	16	32
津波形状	緩斜面	岸で盛上がる	沖でも水の壁	先端に砕波を伴うものが増える。	第一波でも巻き波砕波を起こす。		
	急斜面	速い潮汐	速い潮汐				
音響	音	前面砕波による連続音（海鳴り、暴風雨）					
	響				浜での巻き波砕波による大音響（雷鳴、遠方では認識されない）		
木造家屋	部分的破壊	全面破壊					
石造家屋	持ちこたえる		(資料無し)		全面破壊		
鉄・コン・ビル	持ちこたえる			(資料無し)		全面破壊	
漁船			被害発生	被害率50%	被害率100%		
防潮林被害	被害軽微			部分的被害	全面的被害		
防潮林効果	津波軽減 漂流物阻止			漂流物阻止	無効果		
養殖筏	被害発生						
沿岸集落			被害発生	被害率50%	被害率100%		
打上高(m)	1	2	4	8	16	32	

注：表中、津波高（m）は船舶・養殖筏など海上にあるものに対しては汀線における津波の高さ、家屋防潮林など陸上にあるものに関しては地面から測った浸水深となっている。最下段は一集落全体を対象とした表現となっており、その集落の浸水域内で発生した最高遡上高（最高打ち上げ高）（m）と浸水域内全体としての家屋被害率の被害程度との関係になっている。

5.3.4 斜面崩壊による建物被害の想定

(1) 基本方針

急傾斜地崩壊危険箇所の保全対象とした人家を対象として、長崎県（2006）の考えに基づき、砂防便覧平成15年度版、国土交通省ホームページほかに示された、最近20年間に急傾斜地・地すべり地で被害をもたらした18地震（1987年日向灘地震から2005年福岡県西方沖地震まで）についての崩壊発生件数と人的被害や家屋被害（図5-7）を参考に設定した式を用いた。

(2) 被害率の設定

崖が崩壊する場合に土砂が到達する範囲は、崖の高さの1倍から2倍程度が最大であるといわれているが、斜面の状態（高さや崩壊土砂量）や揺れの強さの詳細な分布などによってケースバイケースである。そこで、過少評価を避けるため、比較的建物被害の多かった4地震のデータ（図中赤色で示す）より、崩壊10件あたりの全壊棟数を4棟と求め、急傾斜地崩壊危険箇所の保全対象人家数の中央値が5棟前後であることより、崩壊1件あたりその8%程度が大破（全壊）と設定している。

$$\text{大破（全壊）戸数（戸）} = 0.08 \times \text{保全対象人家（戸）} \times \text{崩壊発生件数（件）}$$

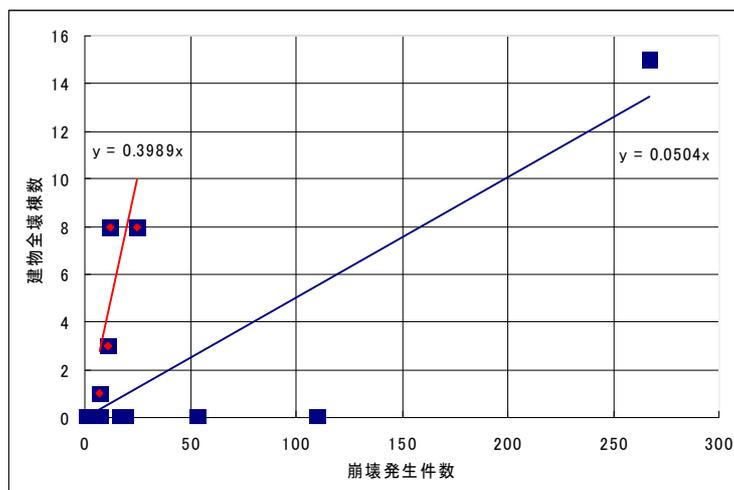


図5-7 最近20年間の地震における斜面崩壊件数と建物大破（全壊）棟数の関係

5.4 被害予測結果

地震ごとの全・半壊棟数を集計結果を表 5-10 に示した。建物被害において最大の被害が予測されたのは別府地溝南縁断層帯で西側にアスペリティーがあった場合の地震で、かつ時間帯火災の発生が多くなる冬 18 時で全壊・焼失棟数は約 63,500 棟という結果である。

各要因の建物被害は後述するが、東南海・南海地震の被害の大半は津波によるものである。地震のタイプによって被害の様相は異なってくる。

表 5-10 建物被害（棟）

地震	季節時刻	全壊・焼失	半壊
別府地溝南縁断層帯 asp 東	冬 5 時	51,084	37,860
	冬 18 時	55,459	
別府地溝南縁断層帯 asp 西	冬 5 時	59,697	41,713
	冬 18 時	63,913	
崩平山一万年山地溝北縁断層帯	冬 5 時	2,034	3,353
	冬 18 時	2,037	
周防灘断層帯	冬 5 時	198	567
	冬 18 時	198	
プレート内	冬 5 時	3,361	7,068
	冬 18 時	3,374	
東南海・南海	冬 5 時	1,616	4,154
	冬 18 時	1,616	

※1：端数処理により合計値が異なる場合がある

※2：0 は 0 より大きく 0.5 未満、(-) はゼロ

※3：焼失棟数は 6 時間後の焼失棟数を採用して、揺れによる被害のダブルカウントを処理した値

※4：津波による被害は堤防が機能するとした値

5.4.1 揺れ・液状化による被害

地震ごとの揺れ・液状化による全・半壊棟数を表 5-11 と表 5-12、図 5-8～図 5-13 に示した。

別府地溝南縁断層帯での地震ではアスペリティー東側の場合で約 5 万棟、西側の場合では 6 万棟近くの揺れによる全壊棟数が予測された。

プレート内地震では大分市を含めて、県中央から南部の広い範囲にわたり液状化の危険度が高まることから、液状化による建物被害も多くなっている。

別府地溝南縁断層帯の場合は強い揺れが県中央部に集中するが、プレートない地震は中規模の揺れが広範囲に広がる。地震動の広がりやの差が建物被害の特徴に現れている。

表 5-11 揺れによる建物被害（棟）

地震名	全壊棟数			半壊棟数		
	合計	木造	非木造	合計	木造	非木造
別府地溝南縁断層帯 asp 東	49,158	41,864	7,294	34,906	26,863	8,043
別府地溝南縁断層帯 asp 西	57,409	48,889	8,519	38,752	29,480	9,272
崩平山-万年山地溝北縁断層帯	1,736	1,575	161	2,891	2,734	158
周防灘断層帯	80	69	11	372	368	4
プレート内	968	710	258	3,165	2,929	236
東南海・南海地震	29	4	25	119	103	15

※1：端数処理により合計値が異なる場合がある

※2：0 は 0 より大きく 0.5 未満、(-) はゼロ

表 5-12 液状化による建物被害（棟）

地震名	全壊棟数			半壊棟数		
	合計	木造	非木造	合計	木造	非木造
別府地溝南縁断層帯 asp 東	1,789	1,151	638	2,954	2,122	832
別府地溝南縁断層帯 asp 西	1,793	1,153	640	2,962	2,127	835
崩平山-万年山地溝北縁断層帯	292	203	89	461	346	115
周防灘断層帯	118	92	26	195	161	34
プレート内	2,386	1,628	758	3,903	2,915	988
東南海・南海地震	63	45	18	107	83	24

※1：端数処理により合計値が異なる場合がある

※2：0 は 0 より大きく 0.5 未満、(-) はゼロ

5.4.2 津波による被害

東南海・南海地震による津波浸水による被害を表 5-13 に示した。

東南海・南海地震による大分県での揺れの大きさと海岸構造物の耐震性を考えた場合、堤防の機能は保たれることが期待できるので、全壊 1,500 棟、半壊 4,000 棟と予測される。しかし、仮に堤防が機能しなかった場合、その被害は全壊 2,000 棟、半壊 5,000 棟と拡大することに注意しなければならない。

表 5-13 津波による建物被害（棟）

被害区分	堤防が機能する場合	堤防が機能しない場合
全壊(棟)	1,524	2,010
半壊(棟)	3,929	5,106
床上浸水(棟)	4,312	7,117
床下浸水(棟)	6,195	10,914

※1：端数処理により合計値が異なる場合がある

※2：0 は 0 より大きく 0.5 未満、(-) はゼロ

5.4.3 斜面崩壊による被害

急傾斜地崩壊による地震ごとの全壊被害を表 5-14 に示した。

別府地溝南縁断層帯での地震で 60 棟程度の全壊被害が発生することが予測された。

前述したようにⅡ・Ⅲについては詳細な調査が未実施であるので、カルテの不足項目については直近の斜面の値を採用し概算したので注意する必要がある。

表 5-14 急傾斜地崩壊による全壊被害（戸）

分類	保全対象 人家戸数	I	Ⅱ*3	Ⅲ*3	合計*3
別府地溝南縁断層帯 asp 東	61,490	54	4	-	58
別府地溝南縁断層帯 asp 西		54	4	-	58
崩平山一万年山地溝北縁断層帯		3	2	-	6
周防灘断層帯		-	-	-	-
プレート内		6	1	-	7
東南海・南海		-	-	-	-

※1：端数処理により合計値が異なる場合がある

※2：0 は 0 より大きく 0.5 未満、(-) はゼロ

※3：データ不足

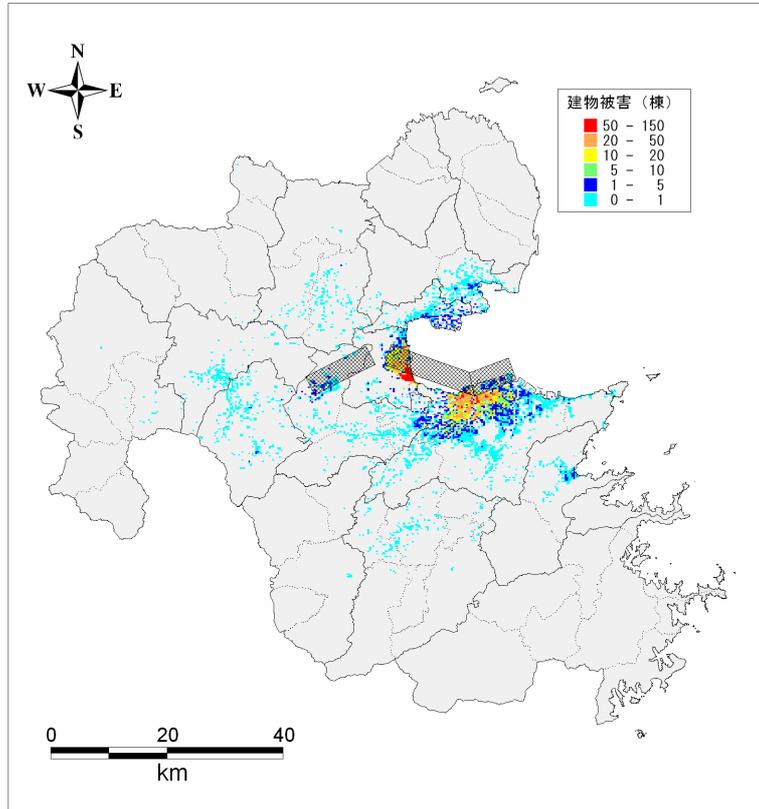


図 5-8 揺れ・液状化による全・半壊棟数<別府地溝南縁断層帯 asp 東側>

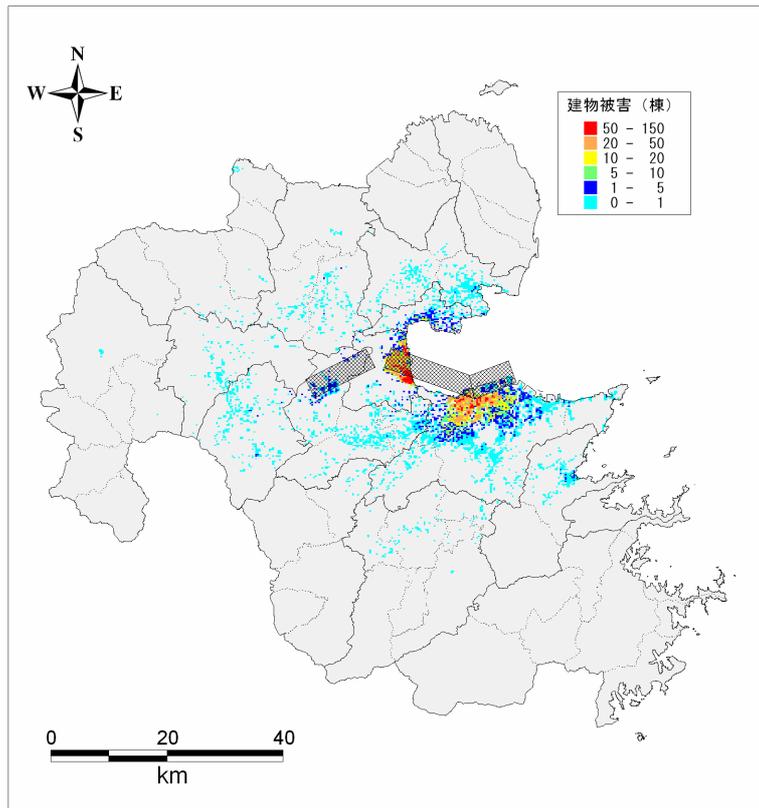


図 5-9 揺れ・液状化による全・半壊棟数<別府地溝南縁断層帯 asp 西側>

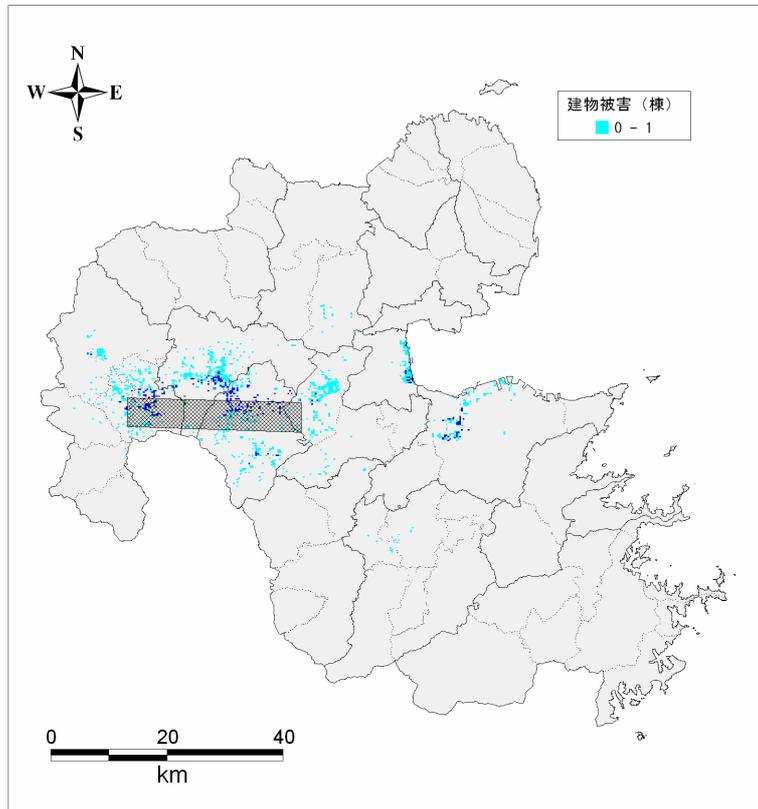


図 5-10 揺れ・液状化による全・半壊棟数<崩平山-万年山地溝北縁断層帯>

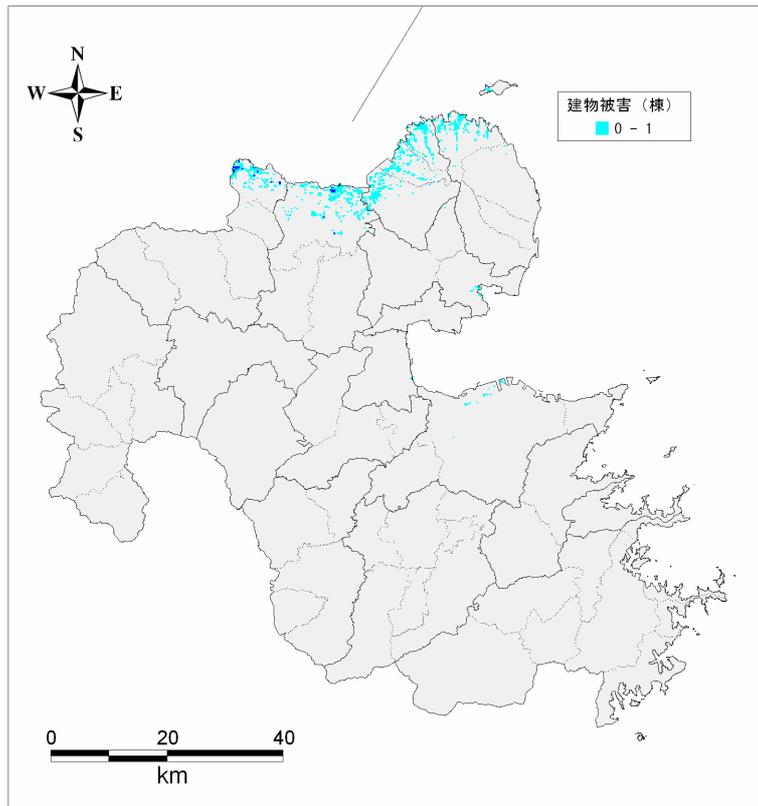


図 5-11 揺れ・液状化による全・半壊棟数<周防灘断層帯>

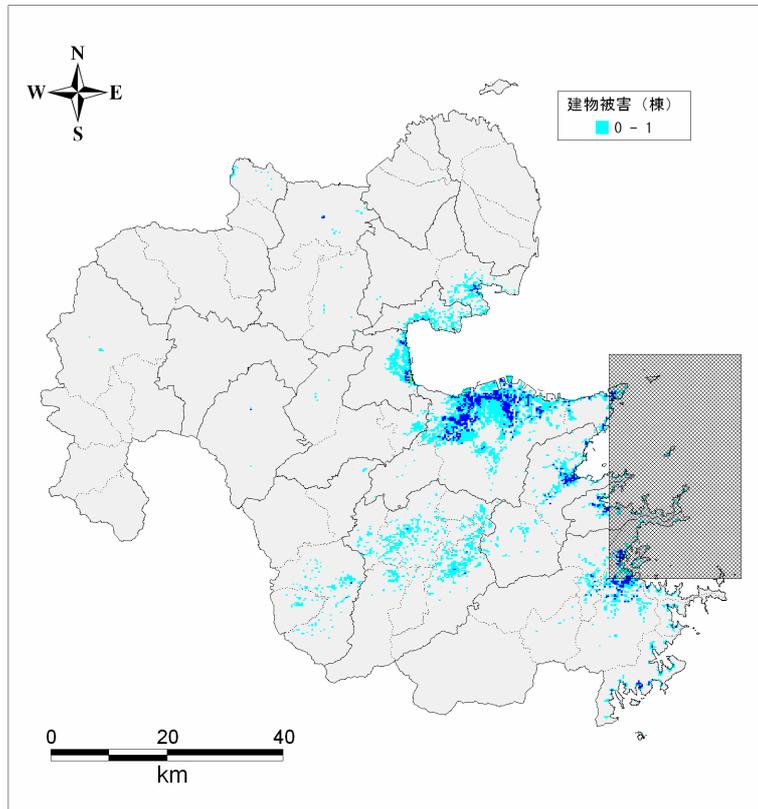


図 5-12 揺れ・液状化による全・半壊棟数<プレート内>

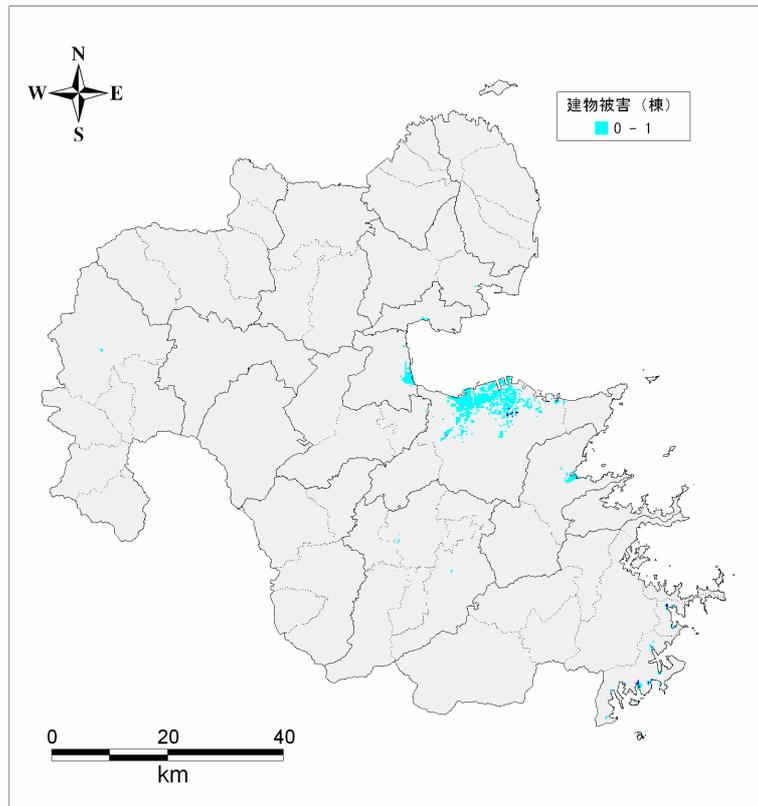


図 5-13 揺れ・液状化による全・半壊棟数<東南海・南海>

【参考文献】

府政防第 518 号 内閣府政策統括官（防災担当）通知：2001. 6. 28

日本建築学会：1978 年宮城県沖地震災害調査報告, 1980.

宮腰淳一, 林康裕, 福和伸夫：建物被害データに基づく各種の被災度指標の対応関係の分析,
日本建築学会, 構造工学論文集, Vol. 48B, 2000 年 3 月.

宮越, 林(1998)：被災データに基づく木造建物群の耐震性評価, 第 3 回都市直下地震災害総合
シンポジウム論文集, p. 315-318

愛知県防災会議地震部会(2003)：愛知県東海地震・東南海地震等被害予測調査報告書, 平成
14 年度版

長崎県：長崎県地震防災等防災アセスメント調査報告書, 2006. 3

大分県：大分県津波浸水予測等業務調査報告書, 2004. 3

首籐伸夫 (1992)：津波強度と被害, 津波工学研究報告第 9 号, p. 101-136