

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.....	5-8
5.3.3 津波による建物被害の想定.....	5-9
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.....	5-15
【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、①～⑦の項目でデータを再検討し、被害予測に用いる最終的な建物数量を求めた。

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 24 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 20 年 10 月 1 日

- ① 構造、年代、用途および年代コードの統一
- ② 床面積 10m² 未満の狭小データの削除
- ③ 増改築データの削除
- ④ 区分所有（マンション等）データの重複処理
- ⑤ 町丁目ごとの構造、年代、用途、階数別の建物データの作成
- ⑥ 町丁目から 250m メッシュへの分配率を建物外形データ¹から作成
- ⑦ 町丁目データから 250m メッシュに振り分け

¹ NTT 空間情報株式会社：GEOSPACE、2012.7

表 5-2 市町村別建物棟数

市町村	合計	木造	非木造
大分市	165,300	106,100	59,200
別府市	52,100	38,600	13,500
中津市	61,000	52,400	8,600
日田市	51,000	44,200	6,800
佐伯市	60,500	50,800	9,700
臼杵市	29,600	25,000	4,600
津久見市	16,600	13,600	3,000
竹田市	27,700	24,400	3,300
豊後高田市	22,700	20,100	2,600
杵築市	23,600	19,700	3,900
宇佐市	46,000	39,400	6,600
豊後大野市	37,300	32,900	4,400
由布市	22,800	20,000	2,800
国東市	33,500	30,000	3,500
姫島村	2,600	2,500	100
日出町	16,900	13,300	3,600
九重町	11,300	9,700	1,600
玖珠町	16,300	14,200	2,100
合計	696,900	556,900	140,000

※1：端数処理により合計値が異なる場合がある

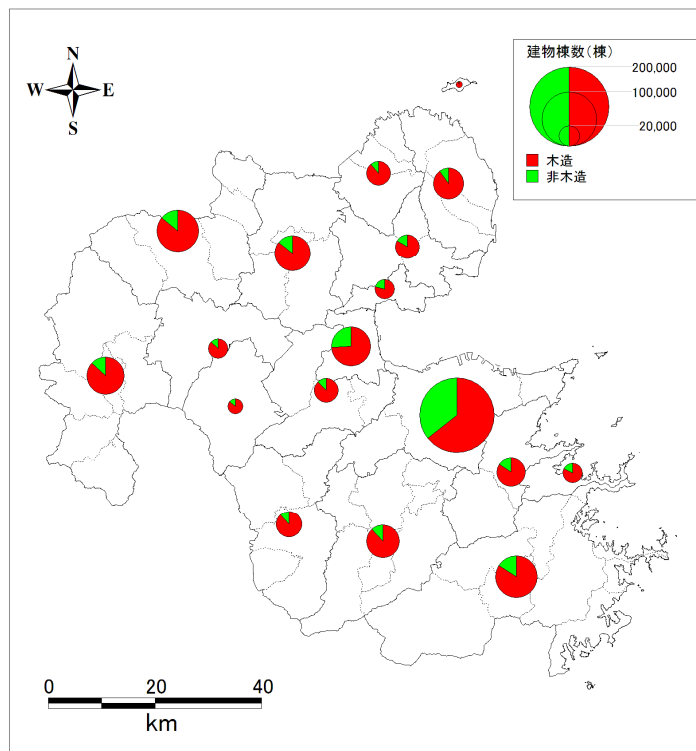


図 5-1 市町村別建物棟数分布

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事が分かる。

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 (床上浸水)	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、住家の損壊が甚だしいが、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 (床下浸水)	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。

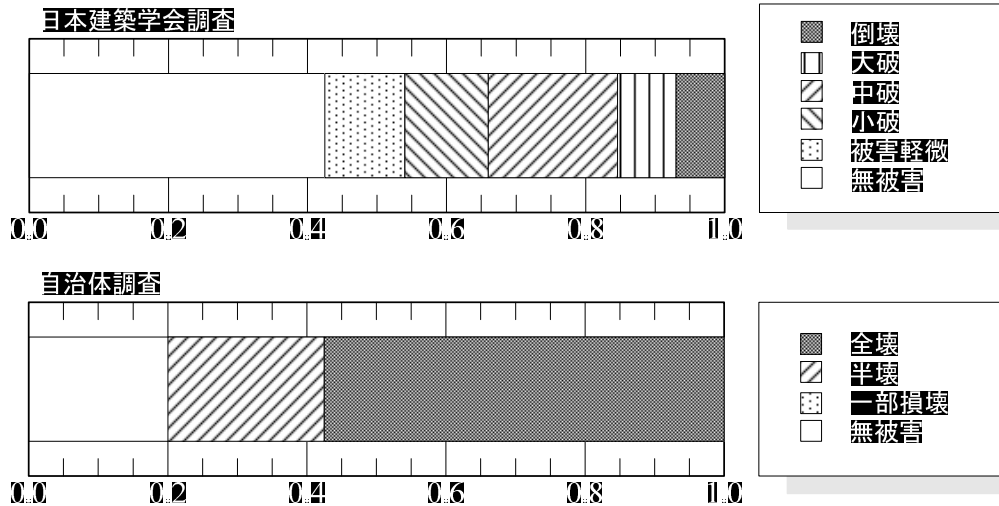


図 5-2 自治体調査による被災度と日本建築学会調査による被災度の比較

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ので、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。

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

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

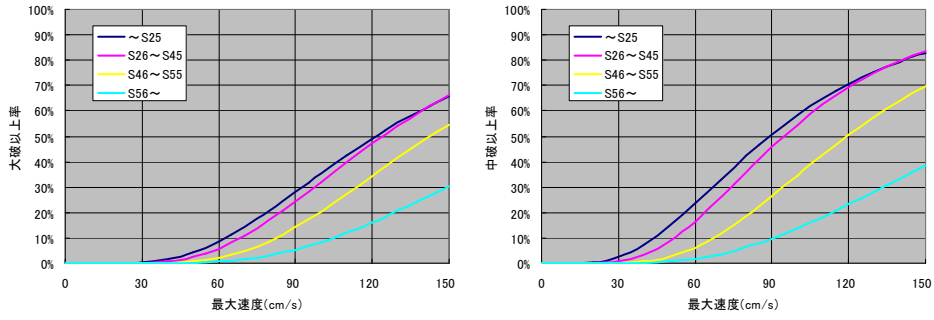


図 5-3 木造建物の大破率・中破以上率に対する被害率曲線

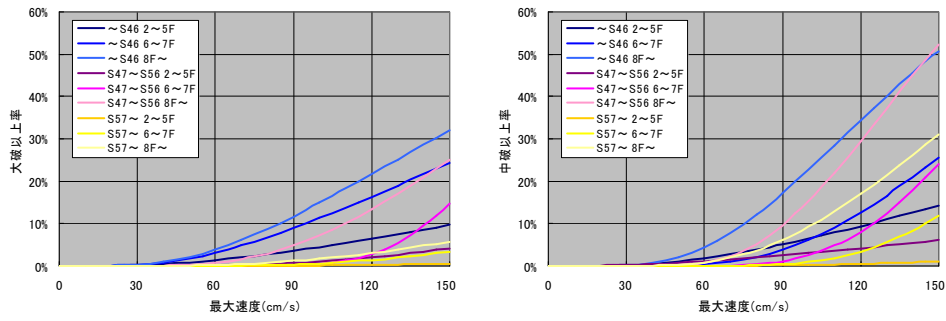


図 5-4 鉄筋コンクリート造建物の大破率・中破以上率に対する被害率曲線

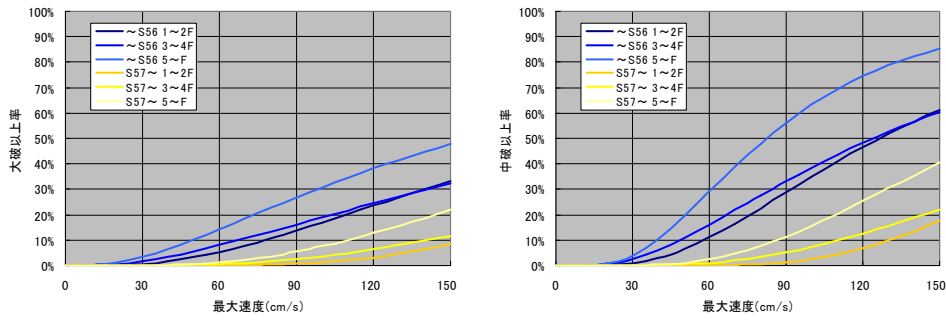


図 5-5 鉄骨造建物の大破率・中破以上率に対する被害率曲線

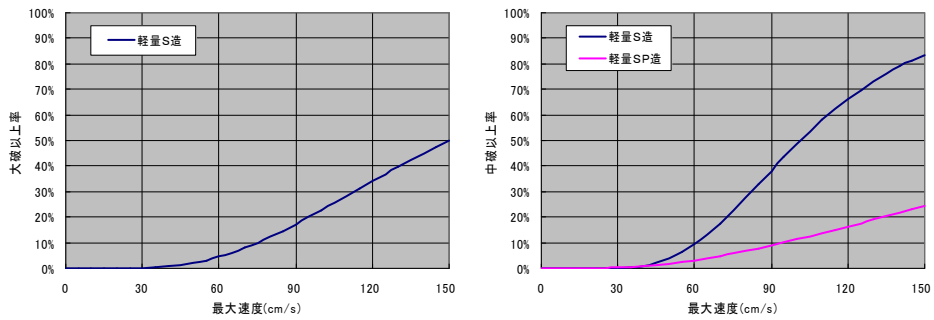


図 5-6 軽量鉄骨造(S造)、軽量鉄骨プレハブ造(SP造)の大破率・中破以上率に対する被害率曲線

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。

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

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

本調査で対象とした3地震とも、大分県には津波が押し寄せることが予想される。本調査で行った、浸水予測結果と建物・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

津波による被害については、以下の方法を用いて想定を実施した。

- ①木造建物・非木造建物の構造別に評価する。
- ②人口集中地区とそれ以外の地区とに分けて評価する。

国土交通省都市局による「東日本大震災による被災現況調査データ」(国土交通省、平成23年10月時点)を用いて、人口集中地区とそれ以外の地区とに分けて分析した結果、人口集中地区では、それ以外の地区と比較して浸水深が浅いところから全壊率、半壊率ともに高くなっていった。これは、津波被害を受けた地域のうち、船舶・建築物の漂流物が多い地域では、波力の増大によって建物被害率が高くなると想定されるためである。

- ③以上の結果をもとに、人口集中地区とそれ以外の地区で浸水深別・建物構造別被害率を設定し算出する(図5-7、図5-8)。

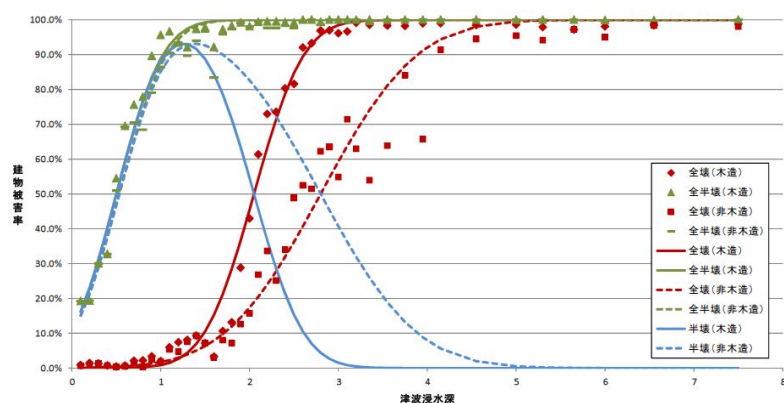


図 5-7 津波浸水深ごとの建物被害率(人口集中地区)

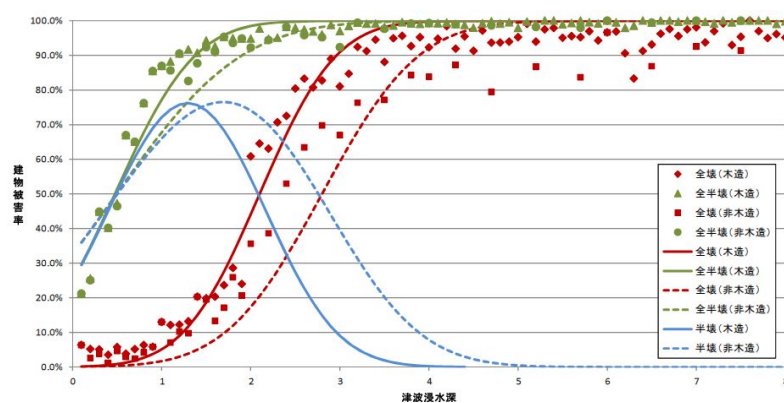


図 5-8 津波浸水深ごとの建物被害率(人口集中地区以外)

④図 5-9 に示す「東日本大震災による被災現況調査結果について（第1次報告）」（国土交通省、平成 23 年 10 月時点）の浸水深と被災状況別棟数割合の関係から、「床上浸水」は半壊棟数に占める割合、「床下浸水」は、全建物に占める割合から、構造別に棟数割合を求めた。なお、非木造の「床上浸水」「床下浸水」の割合は、鉄筋コンクリートと鉄骨造の平均値を用いた。

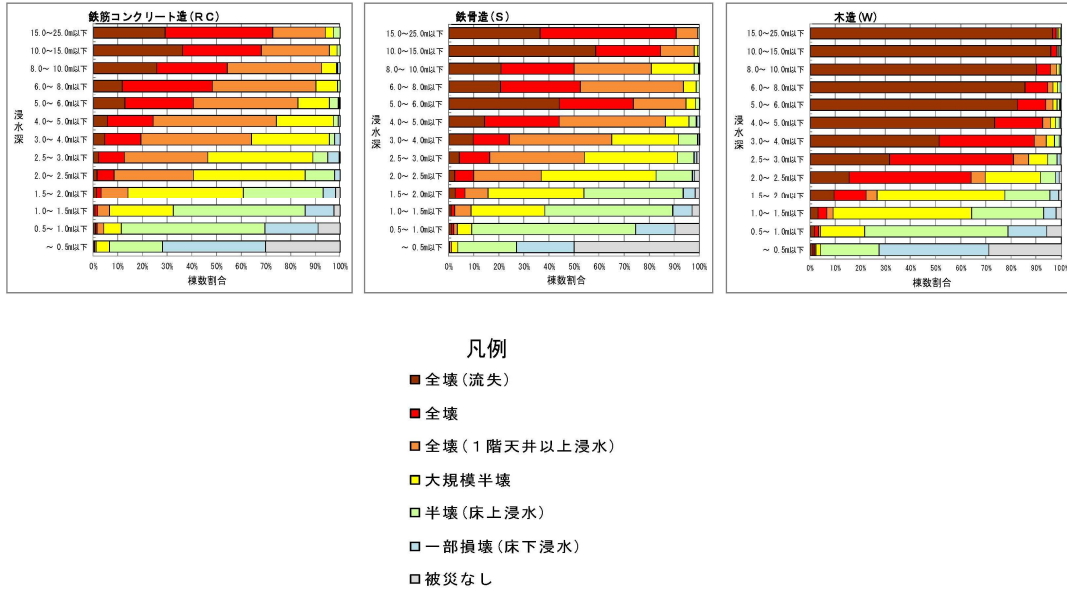


図 5-9 津波浸水深と被害棟数割合

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を示された、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5-10）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。

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

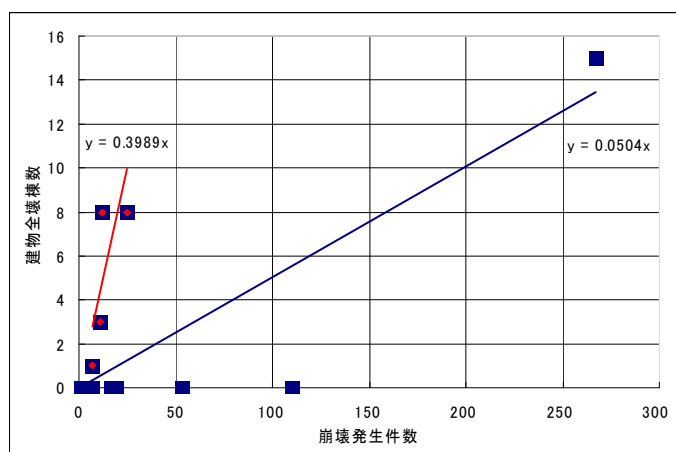


図5-10 最近20年間の地震における斜面崩壊件数と建物大破（全壊）棟数の関係

5.4 被害予測結果

地震ごとの全・半壊棟数の集計結果を表 5-8 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湾の地震（慶長豊後型地震）であり、冬 18 時で全壊・焼失棟数は約 83,000 棟という結果である。

建物被害の各要因は後述するが、南海トラフの地震や周防灘では津波による被害が大きくなっているが、別府湾の地震では津波による被害だけでなく、揺れによる被害も大きくなっている。

表 5-8 建物被害（全体：棟）（津波による被害は堤防が機能しないとした場合）

地震名	季節時刻	全壊・焼失	半壊
南海トラフ (CASE11 陸側)	冬 5 時	30,079	51,371
	夏 12 時	30,083	
	冬 18 時	30,095	
別府湾の地震 (慶長豊後型地震)	冬 5 時	79,911	65,090
	夏 12 時	81,000	
	冬 18 時	83,027	
周防灘断層群主部	冬 5 時	574	4,262
	夏 12 時	574	
	冬 18 時	574	

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

【参考】建物被害（全体：棟）（津波による被害は、津波が乗り越えたら破堤する場合）

地震名	季節時刻	全壊・焼失	半壊
南海トラフ (CASE11 陸側)	冬 5 時	29,246	45,286
	夏 12 時	29,250	
	冬 18 時	29,262	
別府湾の地震 (慶長豊後型地震)	冬 5 時	79,404	62,991
	夏 12 時	80,493	
	冬 18 時	82,520	
周防灘断層群主部	冬 5 時	457	2,585
	夏 12 時	457	
	冬 18 時	457	

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

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 5-9 と表 5-10、図 5-11～図 5-13 に示した。

別府湾の地震（慶長豊後型地震）の揺れによる建物被害は全壊・半壊合わせて 11 万棟近くになると予測された。

南海トラフの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。

周防灘断層群主部による地震での被害は、県北沿岸部の一部に限定的である。

表 5-9 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
南海トラフ （CASE11 陸側）	3,005	2,320	685	7,707	6,939	768
別府湾の地震 （慶長豊後型地震）	63,417	55,070	8,347	45,960	32,086	13,874
周防灘断層群主部	93	76	17	392	386	6

表 5-10 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
南海トラフ （CASE11 陸側）	2,285	1,504	781	3,704	2,686	1,018
別府湾の地震 （慶長豊後型地震）	2,014	1,227	787	3,244	2,218	1,026
周防灘断層群主部	197	154	43	314	257	57

5.4.2 津波による被害

津波浸水による被害を表 5-11 に示した。

本調査では、堤防などの個別の海岸構造物の評価までは行っておらず、「津波が乗り越えたら破堤する」「堤防が機能しない」の二つの条件で浸水予測を行っている。

堤防が機能しない場合で、南海トラフでは全壊約 2.5 万棟、別府湾の地震では全壊約 1.4 万棟、周防灘断層群主部で全壊約 300 棟が発生することが予測された。別府湾の地震では、津波浸水エリアと大きな揺れが予測される地域が重なるため、揺れにより被害を受けた建物が、津波により流されるという事態が発生する。

表 5-11 津波による建物被害（棟）

地震名	堤防条件	全壊(棟)	半壊(棟)	床下(棟)	
				床上(棟)	床下(棟)
南海トラフ (CASE11 陸側)	津波が乗り越えたら破堤する場合	23,947	33,875	16,970	6,217
	堤防が機能しない場合	24,780	39,960	20,719	7,838
別府湾の地震 (慶長豊後型地震)	津波が乗り越えたら破堤する場合	13,643	13,787	6,877	2,953
	堤防が機能しない場合	14,150	15,886	8,360	3,892
周防灘断層群主部	津波が乗り越えたら破堤する場合	167	1,879	1,319	729
	堤防が機能しない場合	284	3,556	2,431	1,283

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 5-12 に示した。

別府湾の地震(慶長豊後型地震)での地震で 80 棟程度の全壊被害が発生することが予測された。

なお、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た。

表 5-12 急傾斜地崩壊による全壊被害 (戸)

地震名	保全対象 人家戸数	I ※2	Ⅱ ※2	Ⅲ ※2	合計*
南海トラフ (CASE11 陸側)	61,490	8	1	-	9
別府湾の地震 (慶長豊後型地震)		78	8	-	86
周防灘断層群主部		-	-	-	-

※1 0は0より大きく0.5未満、(-)はゼロ

※2 I、Ⅱ、Ⅲの定義は表 4-7 参照。ただしⅡ、Ⅲはデータ不足のため参考値。

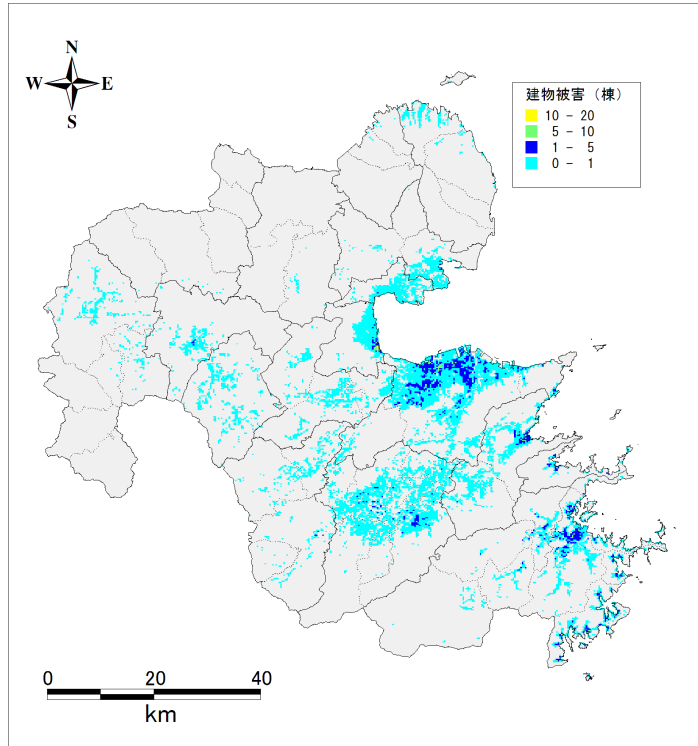


図 5-11 揺れ・液状化による全・半壊棟数<南海トラフ (CASE11 陸側) >

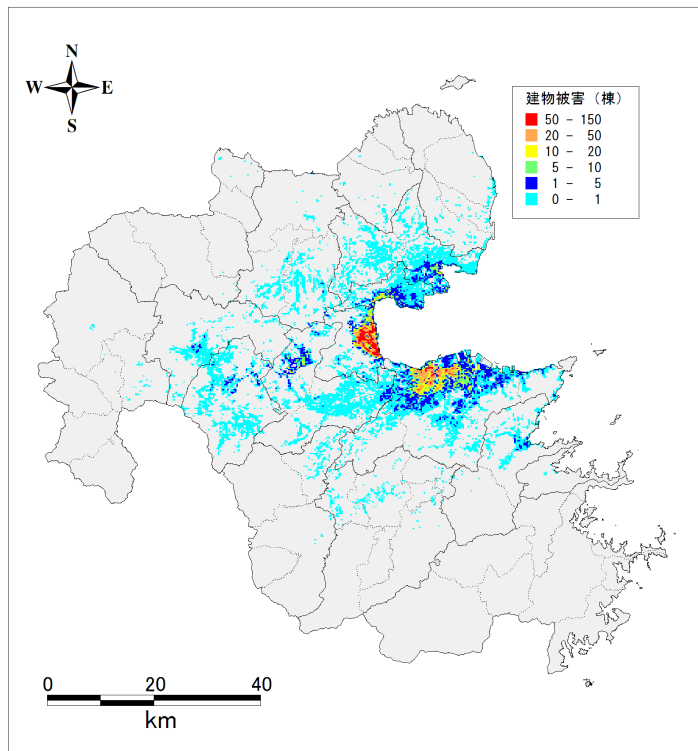


図 5-12 揺れ・液状化による全・半壊棟数<別府湾の地震 (慶長豊後型地震) >

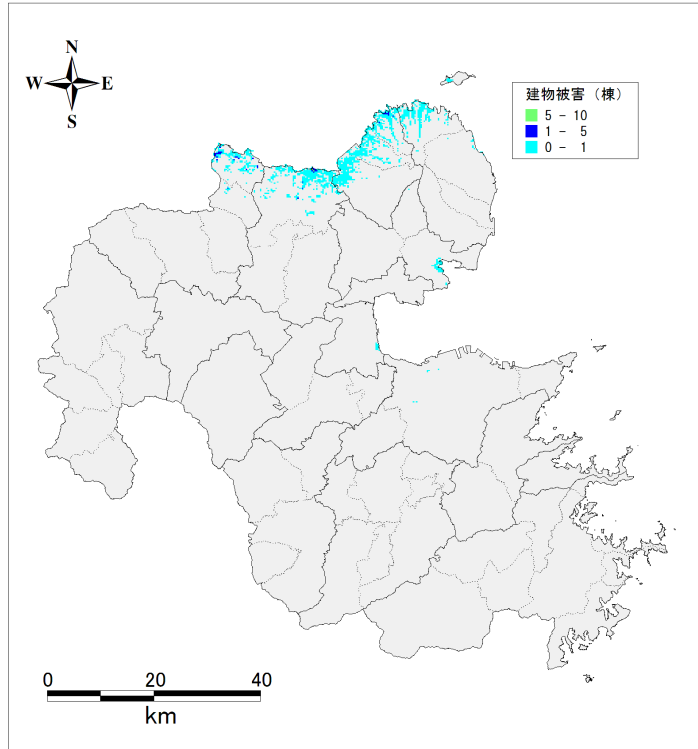


図 5-13 揺れ・液状化による全・半壊棟数<周防灘断層群主部>

【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
- 静岡県(2001)：第 3 次地震被害想定報告書
- 国土交通省(2011)：東日本大震災による被災現況調査 第一次報告、第二次報告、第三次報告
- 大分県(2008)：大分県津波浸水予測等業務調査報告書, 2008. 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
- 内閣府南南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ(2012)：南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ(第一次報告)(平成 24 年 8 月 29 日発表)
- http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai_trough/nankai_trough_top.html