2002 年度修士論文

高知市における地震時の木造倒壊危険地区の抽出

2002 年 1 月 指導教員 中田愼介

高知工科大学大学院基盤工学専攻 社会基盤工学コース 1055142 小八木雅典

学位論文要旨

高知市における地震時の木造倒壊危険地区の抽出

工学研究科 基盤工学専攻 社会基盤工学コース 1055142 小八木雅典

1. 研究背景・目的

1995 年阪神・淡路大震災では、死者の約88%が建物の倒壊による圧死であったと報告されている。その多くは、築30年以上の老朽化した木造建物が倒壊し、その下敷きとなったものであった。

政府は、2030年~2050年の間に南海地震が発生する確立が高いと予測している。過去高知市でもこの南海地震により甚大な被害を受けてきた。高知市の木造建物は、建物の全体の約71%を占めており、その中でも阪神・淡路大震災で被害の大きかった旧建築基準法で建てられた木造建物が約66%を占めている。高知市でも南海地震に備え阪神大震災の教訓を生かし、木造建物の倒壊による人的被害を最小限に抑える必要がある。

本研究では、過去の地震の調査結果から木造建物の倒壊の特徴を分析し、高知市において倒壊危険性のある木造建物が多い地区を抽出することを目的としている。

2. 木造建物の被害特性

1923 年関東大震災で、木造建物は沖積層の厚さが厚いほど被害率が高かったことが報告された。沖積層の厚さと木造建物の被害の関係について、ここでは、平成 12 年に全面改正された建築基準法の中の「限界耐力計算法」による「表層地盤の地震動の増幅特性」の計算式を用いて求めた表層地盤の増幅率のグラフ(図1)を用いて分析する。

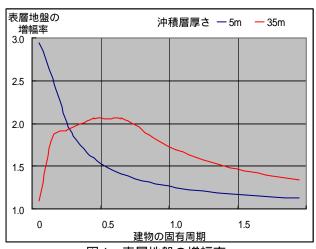


図1 表層地盤の増幅率

図 1 のグラフは建物の固有周期が長くなることによって、増幅率がどう変化するかを表したグラフである。沖積層の厚さが 5mの場合、固有周期が 0.2 秒周辺で増幅率が最大値となり、その後は急激に低下する。沖積層の厚さが 35m になると、増幅率は小さくるが最大値は長周期へ移動する。この特徴が木造建物の倒壊と密接な関りを持っている。

木造建物の地震時の水平力に対する 復元力特性は、被害が進行しても原点

指向型の傾向が強い。すなわち、地震の振動で耐震性能が低下することにより固有周期が長くなる。固有周期が長くなるに従い、沖積層の厚さが35mの場合は、増幅率が高くなる。増幅率が高くなると、そこでさらに大きな損傷を受け、最終的に倒壊に至る。その結果、沖積層が厚いほど木造建物の被害は大きくなる。

3. 木造倒壊危険地区の抽出方法

3-1. 調査対象地区の設定

木造倒壊危険地区抽出には地理情報システム(GIS)を用いる。使用するGISデータは、 高知県からの委託研究により、高知工科大学中田研究室で作成した「南海地震データベー



図 2 調査対称地区

ス」を用いる。高知市全域から、木造建物が 倒壊する危険性の極めて少ない山地、河川、 海、農地、道路を除き、主に宅地を調査対象 地区とする。次に調査対象地区から調査単位 を設定する。従来のメッシュ単位による分類 は、都市基盤を抽象化して表現するため、防 災計画上あまり意味をなさない。そこで本研 究では、メッシュ単位で分類するのではなく 南海地震データベースを用いて、建物1棟1 棟を対象とし、街区を調査単位とした。その ため、道路や建物の配置など、実際の都市に 即した防災計画を行うことができる。その結 果、361地区の調査単位を設定した。

3-2. 新耐震以前の建築基準法で建てられた木造建物が多い地区の抽出

新耐震以前の建築基準法で建てられた木造建物が多い地区の抽出方法は、木造建物の割合による抽出結果と木造建物の棟数による抽出結果を組み合わせる。木造建物の割合は、調査対象地区内の全木造建物棟数のうち、新耐震以前の建築基準法で建てられた木造建物

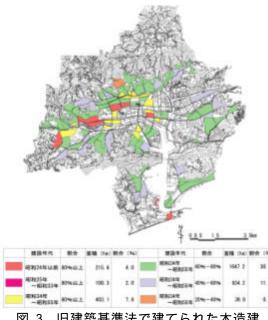


図 3 旧建築基準法で建てられた木造建 物が多い地区の抽出

棟数の割合である。新耐震以前の建築基準法とは、昭和56年の改正以前の建築基準法である。木造建物の棟数は、各年代の新耐震以前の建築基準法で建てられた木造建物ある地区を抽出したものである。

3-3. 木造倒壊危険地区の抽出

木造建物の被害特性から、沖積層が厚く、かつ木造建物が古い場合に大きな被害を生じることが明らかになった。それは沖積層が厚いほど、木造建物が古いほど被害が大きくなる。今回明らかになった被害特性を踏まえ、新耐震以前の建築基準法で建てられた木造建物が多い地区の抽出結果と沖積層厚さをオーバーレイし、木造倒壊危険地区を抽出する。

3-4. 危険度ランク付け

前々章で明らかになったように、木造建物は建設年代が古いほど、さらに沖積層が厚いほど被害 率が高くなる。そこで、木造倒壊危険地区の抽出結果をもとに、旧建築基準法で建てられた木造 建物の割合が高く、かつ年代の古い建築基準法で建てられた木造建物が多く、かつ沖積層が厚い 地区を危険度ランクの高い地区として設定する。危険度ランクの詳細を記す。

	割合	建設年代	沖積層	割合		建設年代	沖積層
Α	80%以上	昭和 24 年以前	25m-35m	Η	80%以上	昭和 34 年-55 年	Om-5m
В	80%以上	昭和 34 年-55 年	25m-35m	-	60%-80%	昭和 34 年-55 年	25m-35m
С	80%以上	昭和 24 年以前	5m-25m	7	60%-80%	昭和 34 年-55 年	5m-25m
D	80%以上	昭和 25 年-33 年	5m-25m	K	60%-80%	昭和 34 年-55 年	Om-5m
Е	80%以上	昭和 24 年以前	Om-5m	L	40%-60%	昭和 34 年-55 年	5m-25m
F	80%以上	昭和 25 年-33 年	Om-5m	М	40%-60%	昭和 34 年-55 年	Om-5m
G	80%以上	昭和 34 年-55 年	5m-25m	N	20%-40%	昭和 34 年-55 年	25m-35m

表 1. 危険度ランク

4. 結論

危険度ランク A の地区は、建物が 80%以上、新耐震以前の建築基準法で建てられた木造建物 が多く存在し、かつ沖積層の厚さは25m~35mとなっている。面積は15.5ha、調査対象地区の 0.3%を占めている。

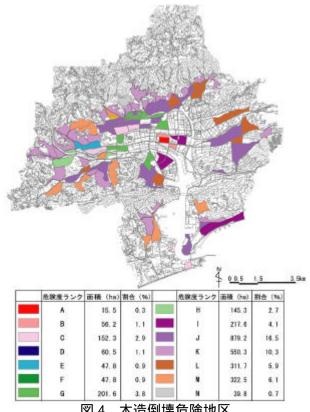


図 4 木造倒壊危険地区

沖積層厚さと建設年代を組み合わせた被 害想定を行うことにより、個々に被害想定を 行うよりはるかに精度がいい被害想定を行う ことができた。また、従来のメッシュによる被 害想定と異なり、街区単位で被害想定を行っ たことにより、今後、実際の都市整備に即し た防災計画が行えると考える。

今回の抽出は、沖積層厚さと木造建物の 建設年代に着目した。その他にも地盤では 液状化の影響、木造建物では平面・立面形 状、壁率の影響を考慮すると今回の被害度 ランクの順位が変動する可能性がある。こ れらの指標を加え、さらに被害想定の精度 を上げるのが望ましい。街区で防災上危険 なものは木造建物の倒壊だけではない。避 難路の配置や建物の密集度など、都市基盤 全体の整備状況を把握し、それに基づく被 害想定さらに防災計画を行う必要がある。

The Extraction of the Collapse Risk Area of Wooden Housing in Kochi-city due to Big Earthquake. 1055142 Masanori KOYAGI

It is reported that about 88 percent of the cause of people's death by the Hanshin-Awaji Earthquake of 1995 was resulted from the collapse of building. Many of collapsed buildings were the wooden houses which are had been built more than 30 years before.

Recently Japanese Government predicted that another Nankai earthquake would occur between 2030 and 2050. Kochi-city has suffered from severe damages case by the Nankai earthquakes before. Thus, Kochi-city has to take enough precautions against the earthquake by learning a lesson from the Hanshin-Awaji Earthquake on order to minimize human damages due to the collapse of wooden houses.

Therefore, the purpose of this study is to extract the collapse risk area of wooden housing in Kochi-city. Such an area is defined as the divided area which is based on the viewpoint of the urban land use. As this extraction methodology, "Geographical Information System" is adopted. First, following item was analyzed regarding relationships between the depth of alluvium thickness and the damage level.

The relationships between the natural period of wooden housing and the amplification factor of earthquake input due to soil characteristics are also reflected to the most dangerous extracted area. As a consequence, in order to extract the collapse risk area of wooden housing in Kochi-city, the investigation applicable area is set up in the city, first. Next, to extract the areas that has alloy of old wooden houses, we take account of the rate of occupying of wooden housing built by Building Standard Low in each area, and also the number of wooden housing according to generations in each area. Finally, collapse risk areas consisting of wooden housing are extracted after the alluvium thickness as is measured.

Keyword

- 1. Disaster prevention of earthquake, 2. Wooden houses, Alluvium,
- 3. Geographical Information System(GIS), 4. Kochi-city, 5. Nankai-earthquake

はじめに

本修士論文は、高知市において倒壊危険性のある木造建物が多い地区を抽出することを目的としている。

本修士論文は全 4 章で構成されている。本研究は、大きく分けて第 1 章序、第 2 章 木造建物の被害特性、第 3 章高知市おける地盤及び木造建物の現状、第 4 章木造建物倒 壊地区の抽出方法、第 5 章結論の 5 章で構成されている。

メッシュや行政区分単位で行われていた従来の被害想定より実用的で実際の被害に近い被害想定を行うために、本研究では木造倒壊危険地区を街区単位で抽出する。そのため、メッシュや行政区分単位と違い、より詳細な被害想定が可能となる。また、建物条件等を平均化するのではなく、個々の建物を対象としている。その結果、精度の高い抽出が行えると考える。抽出には、地理情報システムを用い、データは、「南海地震データベース」を使用する。

高知市における地震時の木造倒壊危険地区の抽出 目次

要旨

はじめに

ABSTRACT

7 IDS 11		ページ
1. 序		
1-1.	研究背景・目的	1
1-2.	論文の構成	2
2. 木	造建物の被害特性 造建物の被害特性	
2-1.	沖積層と木造建物の関係	
2-1.1.	関東大震災における木造建物被害の特徴	3
	沖積層の厚さの違いによる増幅率の違い	4
2-2.		
2-2.1.	建築基準法の改正による木造建物の耐震性の変化	9
	木造建物の固有周期	11
2-3.		11
3. 高 [:]	知市における地盤及び建物の現状	
3-1.	沖積層の現況	13
3-2.		14
٠ ٣.	VIV	
4. 木	造倒壊危険地区の抽出方法	
4-1.	抽出方法のフロー	15
4-2.	調査対象地区の設定	16
4-3.	木造建物の割合による抽出	19
4-4.	木造建物の棟数による抽出	19
4-5.	旧建築基準法で建てられた木造建物が多い地区の抽出	22
4-6.	木造倒壊危険地区の抽出	22
4-7.	危険度ランク付け	24
5. 結		
5-1.	木造倒壊危険地区	26
5-2.	考察	27
6. 付	禄	
	**・ 建築基準施工令第 46 条「構造耐力上必要な軸組等」の変遷	28
	個別の抽出結果	39
<i>5 ⊷</i> .	111111 22 1H TI WH VI	0.0
針段		

謝辞

参考文献

1. 序

1-1. 研究背景・目的

1995 年阪神・淡路大震災では、死者のうち、約88%が建物の倒壊による圧死であったと報告されている。その多くは、築30年以上の老朽化した木造建物が倒壊し、その下敷きとなったものであった。1

政府は、2030年~2050年の間に南海地震が発生する確立が高いと予測している。過去高知市でもこの南海地震により甚大な被害を受けてきた。高知市の木造建物は、建物の全体の約71%を占めている。その中でも阪神・淡路大震災で被害の大きかった新耐震以前の建築基準法で建てられた木造建物が約66%を占めている。高知市でも南海地震に備え阪神大震災の教訓を生かし、木造建物の倒壊による人的被害を最小限に抑える必要がある。

過去の地震において、地震による地盤の変化に関する報告、及び木造建物の被害に関する報告が明示されているものは、1923 年関東大震災における沖積層の厚さによる木造建物の被害 ²、1964 年新潟地震における地盤の液状化に関する被害 ³、1996 年阪神・淡路大震災における老朽化した木造建物の被害 ⁴である。その他の地震においても、地盤及び木造建物の被害はあったと思われるが、報告書として被害データがまとめられていないものが多い。また、新潟地震においては、砂質地盤における液状化によって起きた鉄筋コンクリート造や土木構造物の被害は明示されているが、木造建物の被害については明示されていない。

東京都では平成9年7月に「東京における直下型地震の被害想定に関する調査報告書」 ²をまとめている。ここでは、都内全域を500m メッシュに区切り被害想定を行っている。しかし、メッシュによる被害想定は、その各メッシュ内の地形地盤条件や建物条件等を抽象化して表現してしまう。そのため、市町村レベルで要求されるきめ細かな防災施策の立案用資料として活用できない場合が考えられる。

高知県では平成5年3月に「高知県地震対策基礎調査報告書」 ⁵をまとめている。ここでは、高知市の23行政区分毎に家屋の被害想定を行っている。しかし、実際の被害想定を考える際、行政区分毎の被害想定は意味をなさない。地震が発生すると、行政区分又は町丁目とは関係なく地震被害を受けるためである。また、行政区分は範囲が大きすぎるため、被害想定の精度が低くなることも問題として挙げられる。

防災計画は、具体的な都市において行わなければならない。1 つの街区における社会基盤をどのように整備するかを計画する必要がある。そのため、より実用的で実際の被害に近い被害想定を行うために、木造倒壊危険地区を即地的に抽出する。即地的とは、その地区の社会基盤の特性を維持し、検証を行うことだと考える。そのため、メッシュや行政区分による分割と違い、より詳細な被害想定が可能となる。本研究では、街区を調査単位として設定しているが、建物条件等を調査単位で抽象化するのではなく、個々の建物を対象としている。その結果、精度の高い抽出が行えると考える。

過去の地震を調査した結果、本研究では 1923 年関東大震災における沖積層の厚さによる

木造建物の被害、1996 年阪神・淡路大震災における老朽化した木造建物の被害に着目し木 造倒壊危険危険地区を抽出する。

1-2. 論文の構成

本研究は、大きく分けて第 1 章序、第 2 章木造建物の被害特性、第 3 章高知市おける地盤及び木造建物の現状、第 4 章木造建物倒壊地区の抽出方法、第 5 章結論の 5 章で構成されている。

第1章序では、本研究の背景・目的及び論文の構成を記している。第2章木造建物の被害特性では、木造建物の被害特性を分析している。分析方法として、まず木造建物の固有周期と地盤の増幅特性の関係を解析する。この解析には、平成12年に基準化された限界耐力法による増幅特性を示す設計式を用いた。解析結果をもとに木造建物の被害特性を分析している。第3章高知市における地盤及び木造建物の現状では、高知市の沖積層の厚さ分布、木造建物の現状を調査している。第4章木造建物倒壊地区の抽出方法では、木造建物倒壊地区の抽出の手順を記している。まず、調査対象地区を設定する。次にこの地区毎の木造建物の占める割合、木造建物の棟数、沖積層厚さの3つの項目を抽出する。これら3つの項目をオーバーレイすることにより、木造倒壊危険地区を抽出する。最後に抽出された地区に危険度ランクを付ける。第5章結論では、抽出された木造倒壊危険地区を載せ、考察を記している。以下に、本論文の構成を記す。

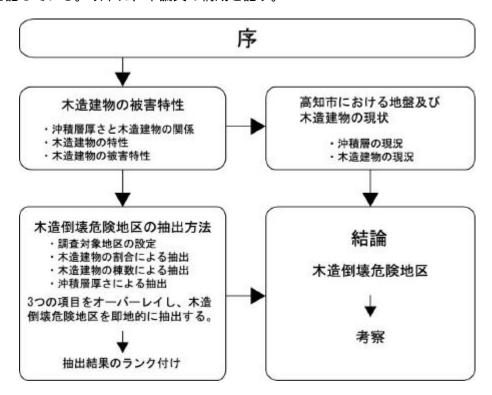


図 1-1 論文の構成

2. 木造建物の被害特性

2-1. 沖積層と木造建物の関係

2-1.1. 関東大震災における木造建物被害の特徴

1923 年、関東大震災が発生した。当時の東京市の3分の2が焼失した火災被害が大きく取り挙げられ、死者のほとんどが火災による焼死であった。火災の被害のほかに関東大震災では、振動による木造建物の被害にも大きな特徴を残している。木造建物の被害の特徴として地盤のやわらかい下町の被害が大きかった6。(図2-1)これとは対照的に、山手では比較的被害が少なかったことが挙げられる。下町のやわらかい地盤とは沖積層であり、この沖積層が厚いほど、木造建物の倒壊率が高かったことも報告されている。6(図2-2)沖積層とは、約1万年前から現在までの沖積世の間に堆積し、また現在も堆積しつつある地層であり比較的やわらかい地盤である。

これは、他の構造の建物より比較的長い木造建物の固有周期と沖積層の厚さの違いによる増幅特性によるものと考えられる。建物の固有周期と地盤の増幅特性の関係については次項で詳しく分析する。図 2-1 を見ても分かるとおり、下町の比較的やわらかい地盤の地域では固有周期の長い木造建物の被害が大きいのに対し、固有周期の短い土蔵建物の被害が少ない。これに対し、山手の比較的固い地盤の地域では、木造建物の被害が少なく、土蔵建物の被害が大きい。さらに、図 2-2 のように沖積層が厚いほど、木造建物の被害率が高くなっていることも、木造建物の固有周期と地盤の増幅特性の関係によるものである。

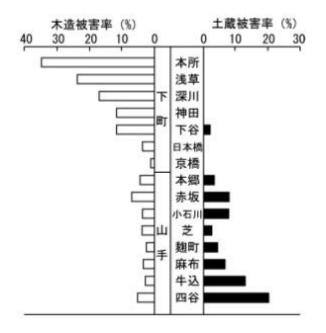


図 2-1 下町と山の手の建物被害の比較

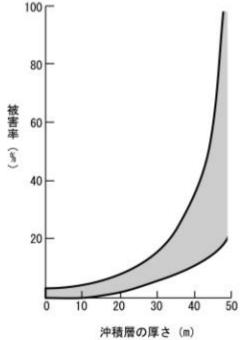


図 2-2 沖積層の厚さと木造建築の被害率(関東大震災、1923年)

出典(図2-1、図2-2):「地震と建築」/大崎順彦/1983.8.22/岩波新書/P.132、P.127

2-1.2 沖積層の厚さの違いによる増幅率の違い

沖積層はその厚さにより増幅率が変化する。表 2-1 は、沖積層の増幅率、図 2-3 はそのグラフである。これは、平成 12 年に基準化された「限界耐力計算法」 ⁷による「表層地盤の損傷限界時の増幅特性」の式によって算出した。沖積層厚さが 0m、5m、10m、15m、20m、25m、30m、35m の場合を考える。沖積層の N 値を 10、土質を細砂、湿潤密度を 1.7t/m³とする。解放工学的基盤面の上に厚さの異なる沖積層があると仮定し、簡易的な地盤モデルを作成する。ただし、解放工学的基盤面の上に層がない場合は算出できない。そのため、0m の場合は沖積層厚さを 0.01m として算出する。以上の 8 つのモデルについて算出を行う。解放工学的基盤面は N 値 50 の洪積層とし厚さを 10m、土質を礫、湿潤密度を 2.1s/m³とした。

表層地盤の損傷限界時の増幅率 Gs の算定式は式(2)~(18)のとおりである。また、 N 値から S 断波速度を推定する式として、太田後藤式 式(1)を用いた。以下に算出過程を記す。

第 i 層の S 断波速度の算出

 $Vs = 6.879 \times N^{0.171} \times H^{0.199} \times E \times F$ - \pm (1)

Vs: 第 i 層の S 波速度 (m/s) N: N 値 H: 層厚 (m)

E:時代区分による係数

沖積層	1.000
洪積層	1.303

F: 土質区分による係数

粘土	1.000 中砂	1.066 砂礫	1.153
細砂	1.086 粗砂	1.135 礫	1.448

表 2-1. S波速度の算出

H (m)	時代区分	N値	Е	F	Vs(m/s)
0.01	沖積層	10	1	1.086	44.3
5	沖積層	10	1	1.086	152.6
10	沖積層	10	1	1.086	175.1
15	沖積層	10	1	1.086	189.8
20	沖積層	10	1	1.086	201.0
25	沖積層	10	1	1.086	210.2
30	沖積層	10	1	1.086	217.9
35	沖積層	10	1	1.086	224.7
10	洪積層	50	1.303	1.448	400.6

表 2-2 地盤の特性

		沖積層									
	0.01m	5m	10m	15m	20m	25m	30m	35m	10m		
i(t/m3)	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7		2.1		
Vsi(m/s)	44.3	152.6	175.1	189.8	201.0	210.2	217.9	224.7	400.6		

第i層の弾性時のせん断剛性 Goi

$$G_0 i = \mathbf{r} i V s i^{-2} \qquad (kN/m^2) \qquad - \vec{\pi} (2)$$

i: 第 i 層の湿潤密度 (t/m³) Vsi: 第 i 層の S 波速度 (m/s)

第i層の地震時のせん断剛性 Gi

$$Gi = 低減係数 \times G \circ i \quad (kN/m^2)$$
 - 式(3)

せん断剛性 Gi とせん断ひずみ i の収斂計算の 1 回目はせん断ひずみ i を 0 として低減係数は 1.0 となる。

表 2-3. 各地盤モデルのせん断剛性

		沖積層									
	0.01m	5m	10m	15m	20m	25m	30m	35m	10m		
Goi(kN/m2)	3335.5	39568.5	52138.6	61269.4	68702.0	75082.6	80733.4	85841.7	337088.2		
低減係数	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
Gi(kN/m2)	3335.5	39568.5	52138.6	61269.4	68702.0	75082.6	80733.4	85841.7	337088.2		

表層地盤の卓越周期 T1

$$T_{1} = \frac{4(\sum_{i=1}^{\text{Max}} Hi)^{2}}{\sum_{i=1}^{\text{Max}} \sqrt{\frac{Gi}{ri}} Hi}$$
 (s)

表層地盤の卓越周期 T2

$$T_2 = \frac{T_1}{3}$$
 (s)

表 2-4 表層地盤の卓越周期

0.0	1m	5	m	10m		15	5m	
T1(s)	T2(s)	T1(s)	T2(s)	T1(s)	T2(s)	T1(s)	T2(s)	
9.03E-05	3.01E-05	0.1	0.0	0.2	0.1	0.3	0.1	
20	20m		25m)m	35m		
T1(s)	T2(s)	T1(s)	T2(s)	T1(s)	T2(s)	T1(s)	T2(s)	
0.4	0.1	0.5	0.2	0.6	0.2	0.6	0.2	

波動インピーダンス比

$$a = \frac{\sum \sqrt{\frac{Gi}{ri}} Hi \sum riHi}{(\sum Hi)^{2}} \cdot \frac{1}{r_{B}V_{B}}$$
 - \vec{x} (10)

表 2-5 波動インピーダンス比

0.01m	5m	10m	15m	20m	25m	30m	35m
0.09	0.31	0.35	0.38	0.41	0.42	0.44	0.45

第1層の最大ひずみエネルギー

$$\mathbf{w}\,i = \frac{Gi}{2\,Hi}ui^{2}$$

収斂計算の1回目は相対変位 uiが 0.0 である。

減衰定数 h

$$h = \frac{\sum_{i=1}^{\frac{m}{2}} hi \mathbf{w} i}{\sum_{i=0}^{\frac{m}{2}} \mathbf{w} i} - 式 (12)$$

減衰係数が 0.0 となるがせん断ひずみ i=0.0 のとき h=0.02 とする。

一次卓越周期に対する地表面の増幅率 Gs1

$$Gs_1 = \frac{1}{1.57 \ h + a}$$
 - \pi (13)

二次卓越周期に対する地表面の増幅率 Gs2

$$Gs_2 = \frac{1}{4.71 h + a}$$
 - $\pm (14)$

表 2-6 卓越周期に対する地表面の増幅率

	0.0	1m	5	m	10)m	15m		
G	is1	Gs2	Gs1	Gs2	Gs1	Gs2	Gs1	Gs2	
	8.27	5.44	2.94	2.48	2.60	2.23	2.41	2.09	
	20)m	25	5m	30)m	35m		
Gs1		Gs2	Gs1	Gs2	Gs1	Gs2	Gs1	Gs2	
	2.29	2.00	2.19	1.93	2.12	1.87	2.06	1.82	

地表地盤の増幅率 Gs

(1)
$$T \le 0.8T_2$$

 $Gs = Gs_2 \frac{T}{0.8T_2}$
(2) $0.8T_2 \pi T \le 0.8T_1$

$$Gs = \frac{Gs_1 - Gs_2}{0.8(T_1 - T_2)}T + Gs_2 - 0.8 \frac{Gs_1 - Gs_2}{0.8(T_1 - T_2)}T_2$$

$$- \sharp (16)$$
(3) $0.8T_1 \pi T \le 1.2T_1$
 $Gs = Gs_1$
(4) $1.2T_1 \pi T$

$$Gs = \frac{Gs - 1}{\frac{1}{1.2T_1}} \cdot \frac{1}{T} + Gs_1 - \frac{Gs - 1}{\frac{1}{1.2T_1}} \cdot \frac{1}{1.2T_1} - 0.1 \cdot \frac{1}{1.2T_1}$$

$$- \pm t (18)$$

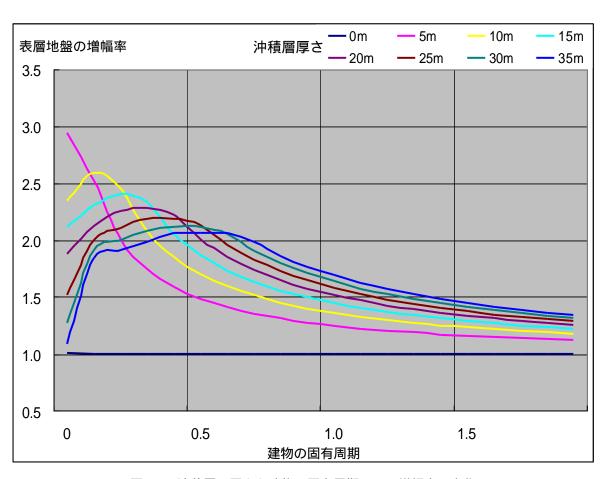


図 2-3 沖積層の厚さと建物の固有周期による増幅率の変化

					沖積層	の厚さ			
		Om	5m	10m	15m	20m	25m	30m	35m
	0.1	1.01	2.94	2.35	2.12	1.88	1.52	1.27	1.10
	0.2	1.00	2.52	2.60	2.31	2.13	2.00	1.92	1.85
	0.3	1.00	2.00	2.45	2.41	2.26	2.11	2.00	1.92
	0.4	1.00	1.75	2.08	2.33	2.29	2.19	2.09	1.99
	0.5	1.00	1.59	1.85	2.06	2.22	2.19	2.12	2.06
	0.6	1.00	1.49	1.70	1.87	2.01	2.13	2.12	2.06
	0.7	1.00	1.41	1.60	1.74	1.86	1.96	2.05	2.06
建	0.8	1.00	1.36	1.52	1.64	1.74	1.83	1.91	1.98
物 の	0.9	1.00	1.31	1.45	1.56	1.65	1.73	1.80	1.87
固 有	1.0	1.00	1.28	1.40	1.50	1.58	1.65	1.71	1.77
建物の固有周期	1.1	1.00	1.25	1.36	1.45	1.52	1.58	1.64	1.69
(秒)	1.2	1.00	1.23	1.33	1.41	1.47	1.53	1.58	1.63
()	1.3	1.00	1.21	1.30	1.37	1.43	1.48	1.53	1.57
	1.4	1.00	1.19	1.28	1.34	1.40	1.44	1.49	1.53
	1.5	1.00	1.18	1.25	1.31	1.37	1.41	1.45	1.49
	1.6	1.00	1.16	1.24	1.29	1.34	1.38	1.42	1.45
	1.7	1.00	1.15	1.22	1.27	1.31	1.35	1.39	1.42
	1.8	1.00	1.14	1.20	1.25	1.29	1.33	1.36	1.39
	1.9	1.00	1.13	1.19	1.24	1.27	1.31	1.34	1.37
	2.0	1.00	1.12	1.18	1.22	1.26	1.29	1.32	1.34

表 2-7 増幅率 Gs

図 2-3 は、沖積層の厚さと建物の固有周期による増幅率の変化を示している。縦軸に表層 地盤の増幅率、横軸に建物の固有周期をとっている。表層地盤とは沖積層である。沖積層 厚さが薄い場合、建物の固有周期が短いところで増幅率は大きくなる。厚さが厚くなるに 従い増幅率は減少し、さらに、各沖積層厚さの増幅率の最大値は建物の固有周期が長くな るほうへ変化していく。厚さが厚いほど、建物固有周期が長くなる際集束していく傾きが 小さく、増幅率の減少が少ない。

実際の地盤は多くの地層、地質で成り立っているため簡易的に表すことは難しい。今回は、解放工学的地盤と沖積層の 2 層からなる簡易的な地盤モデルを用いて解析を行った。 簡易的なモデルであるため、精度面での限界はあるが、増幅率と固有周期の関係を明確に あらわしている。

2-2. 木造建物の特性

2-2.1 建築基準法の改正による木造建物の耐震性の変化

阪神・淡路大震災の特徴として、建設年代が古い木造建物の被害が大きかったことが報告されている。その理由として、建設年代の古い建物は構法的に古く、十分な耐震性能がなかったこと、老朽化により建設当時と比べ耐震性能が低下していたことなどがあげられる。これら2つの要素が重なった場合、木造建物は甚大な被害を受けた。⁸

木造建物に関する建築基準法で耐震性能に関係するものは、昭和 25 年に制定、昭和 34 年、55 年に改正された。昭和 62 年の改正では数値などの内容は変更されていない。木造建物の耐震性能に影響を及ぼす、必要壁量、軸組の種類と倍率の変遷 ⁹をまとめた。

また、付録に木造建物の耐震性能に関係のある、建築基準施工令第 46 条「構造耐力上必要な軸組等」の変遷 ⁹ ¹⁰ をまとめた。出典 (表 2-8 - 2-11):「阪神・淡路大震災調査報告木造建築物・建築基礎構造」/日本建築学会/1998.3.20/P.8-P.10

改正年	建物の種類	平屋	2階	键	3階建		
以正牛	生物の推奨	十/全	1階	2階	1階	2階	3階
1950年	屋根および壁の重い建築物	12	16	12	20	16	12
19504	屋根の軽い建築物	8	12	8	16	12	8
1959年	屋根および壁の重い建築物	15	24	15	33	24	15
1959+	屋根の軽い建築物	12	21	12	30	21	12
1981年	屋根および壁の重い建築物	15	33	21	50	39	24
19014	屋根の軽い建築物	11	29	15	46	34	18

表 2-8 必要壁量 (単位:cm)

悪 2-9	軸組の種類と停家	(昭和95年制定)

	軸組の種類	倍率			
(-)	軸組の柱の五つ割以上の木材又は径9ミリ メー Hル以上の鉄筋若しくはこれと同等の強 度を有するその他の鉄材の筋かいを入れた	1			
\Box	軸組の柱の三つ割以上の木材又は径12ミリ メー Hル以上の鉄筋若しくはこれと同等の強 度を有するその他の鉄材の筋かいを入れた	2			
€)	軸組の柱の二つ割以上の木材又は径16ミリ メー Hル以上の鉄筋若しくはこれと同等の強 度を有するその他の鉄材の筋かいを入れた	3			
四)	軸組の柱と同じ寸法の木材の筋かいを入れ た軸組	4			
伍)	(一)から (四)までに掲げる筋かいをたすき掛けに入れた軸組	一 から 四 までの それぞれの数値の2倍			
(六)	土塗壁、木ずりしっくい壁又はこれらに類する 壁を設けた軸組	0.5			
(七)	(一)から(五)までに掲げる筋かいと(六)に掲げる壁とを併用した軸組	(一)から(五)までの それぞれの数値と (六)の数値との和			

表 2-10 軸組の種類と倍率(昭和34年改正)

	軸組の種類	倍率
(-)	土塗壁で裏返塗りをしないものを設けた軸組	0.5
(C)	士塗壁で裏返塗りをしたもの又はこれに類する壁を設けた軸組厚さ15センチメートルで幅9センチメートルの木材若しくは径9ミリメートルの鉄筋又はこれらと同等以上の耐力を有する筋かいを入れた	1
(∈)	木ずりその他これに類するものを柱及び間柱の片面に打ちつけた壁を設けた軸組軸組の柱の三つ割以上の木材若しくは径12ミリメートル以上の鉄筋又はこれと同等以上の耐力を有する筋かいを入れた軸組	1.5
(四)	木ずりその他これに類するものを柱及び間柱 の両面に打ちつけた壁を設けた軸組 軸組の柱の二つ割以上の木材若しぐは径16ミ リメートル以上の鉄筋又はこれと同等以上の 耐力を有する筋かいを入れた軸組	3
伍)	軸組の柱と同じ寸法の木材の筋かいを入れ た軸組	4.5
(六)		二 から 四 までの それぞれの数値の2倍
(七)	(五)に掲げる筋かいをたすき掛けに入れた軸	
(1)	(一)から (四) までに掲げる壁と (二)から (七) までに掲げる筋かいとを供用した軸組	(一)から 四)までのそれぞれの数値と(二)から (土)までのそれぞれの数値の

表 2-11 軸組の種類と倍率(昭和 56 年改正)

	軸組の種類	倍率	
(-)	土塗壁又は木ずりその他これに類するものを 柱及び間柱の片面に打ちつけた壁を設けた	0.5	
(□)	木ずりその他これに類するものを柱及び間柱 の両面に打ちつけた壁を設けた軸組 厚さ15センチメートルで幅9センチメートルの 木材若しくは径9ミリメートルの鉄筋又はこれ らと同等以上の耐力を有する筋かいを入れた	1	
€)	厚さ3センチメートルで幅9センチメートルの木材又はこれと同等以上の耐力を有する筋かいを入れた軸組	1.5	
四)	厚さ45センチメートルで幅9センチメートルの 木材又はこれと同等以上の耐力を有する筋 かいを入れた軸組	2	
伍)	9センチメートル角の木材又はこれと同等以上 の耐力を有する筋かいを入れた軸組	3	
(六)	(二)から (四)までに掲げる筋かいをたすき掛けに入れた軸組	(二)から(四)までの それぞれの数値の2 倍	
(七)	(五)に掲げる筋かいをたすき掛けに入れた軸		
<i>(</i> \)	その他建設大臣が (一)から (七)までに掲げる軸組と同等以上の耐力を有するものと認めて定める軸組	0.5から5までの範囲 において建設大臣 が定める数値	
仇)	(一)又は (二)までに掲げる壁と (二)から (六)までに掲げる筋かいとを供用した軸組	(一)又は (二)のそれぞれの数値と(二)から (六)までの	

2-2.2. 木造建物の固有周期

木造建物の固有周期は、一般的には古い建物が 0.5 ~ 0.7 秒、新しい建物が 0.2 秒前後とされている。

木造建物が倒壊に至る時の固有周期を簡易的に重力式から求めた。

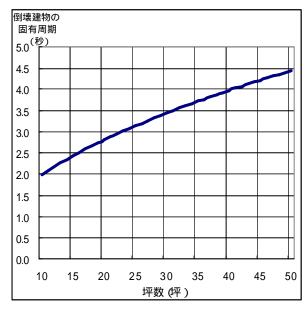


図 2-4 木造建物の倒壊時の固有周期

$$T = 2 \mathbf{p} \sqrt{\frac{m}{h}} - \overline{x} (13)$$

T: 固有周期 m: 建物の重量

h: 倒壊時の建物の変位

式(13)を用いて、2 階建て木造建物の坪数が変化した場合の倒壊時の固有周期を求め、グラフ化した。(図 2-4)倒壊時の最大変位は一般に100cm程度とされている。この値は、層間変形角がおよそ1/3 に達すると自然崩壊するという建築研究所の研究報告から引用した 11。また、木造建物の1坪あたりの重量を1tと仮定しているため、坪数=重量となりグラフ

の横軸は坪数としている。一般的な木造建物を 30 坪から 50 坪とすると、その倒壊時の固有周期は 3.4 秒~4.4 秒となる。

引用:「昭和42年研究報告」/東京大学工学部建築学科建築研究所

2-3. 木造建物の被害特性

これまでの調査、及び解析から、1. 過去の地震では、沖積層が厚いほど木造建物の被害率が高いこと、2. 沖積層の厚さによって建物の固有周期に対する増幅率が変化すること、3. 木造建物の固有周期は、建てられた年代の建築基準法と老朽化が影響しており、特に、建築基準法の必要壁量、軸組倍率の変遷が木造建物の耐震性能に影響していることが明らかになった。ここで、これらの調査、解析をもとに木造建物の被害特性を分析する。ただし、木造建物の被害は、この 2 つの要因だけで発生しているのではなく、もっと多くの要因が重なり合い発生しているものである。例えば、木造建物の重量、平面形状、立面形状なども木造建物の被害に影響を及ぼすと考えられる。今回の被害特性は、その中でも特徴的な沖積層の厚さ(増幅率)と木造建物の建設年代(固有周期)の関係から分析したものである。

木造建物の地震時の水平力に対する復元力特性は、被害が進行しても原点指向型の傾向が強い。沖積層が厚いほど木造建物の被害率が高くなるのは、振動により耐震性が低下していくとそれに伴い建物の固有周期が長くなっていくことが原因であると考える。

ここで、固有周期 0.2 秒の木造建物を例に挙げ、沖積層厚さ 5mと 35mの場合で考えてみる。図 2-5 には、表層地盤の増幅率と建物の固有周期のグラフ (図 2-3)から、沖積層厚さ 5m と 35m の場合を示す。沖積層厚さ 5mの場合、建物の固有周期 0.2 秒のところでの増幅率は高く、ここで損傷し耐震性の低下した木造建物の周期は長くなる。しかし、固有周期が長くなると増幅率は極端に低下するため、それ以上被害が進行しなくなる。それに対し 35mの場合は、0.2 秒のところでの増幅率は 5mの場合と比べ小さいが、局部的な損傷を生じる。損傷により耐震性が低下し、固有周期が 0.5 秒に長くなったとすると、増幅率は高くなり大きな損傷を受け、被害が進行していく。また、固有周期が長くなると増幅率は徐々に低下するが、建物が大きな損傷を受け耐震性が低くなっているため、小さなエネルギーでも被害を受ける。このように木造建物が損傷し、固有周期が長くなるにつれて増幅率が大きくなり、さらに大きな損傷が生じることにより最終的に倒壊に至る。そのため、古い木造建物は、沖積層が厚いほど被害率が高くなるのである。

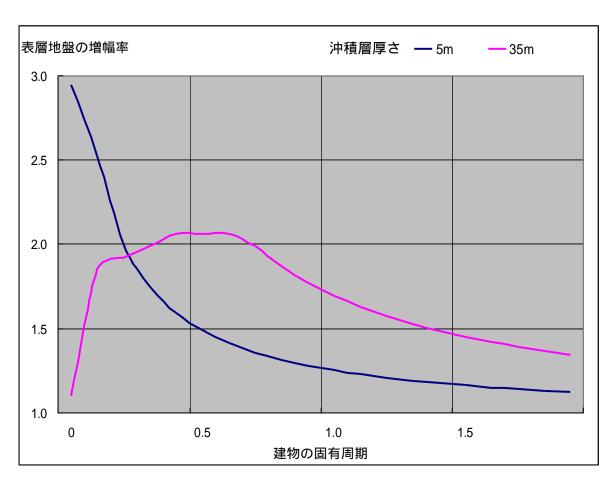


図 2-5 沖積層の厚さと建物の固有周期による増幅率の変化

3. 高知市における地盤及び建物の現状

3-1. 沖積層厚さの現況

高知市の地盤の状況を調べてみると、広範囲に渡り沖積層が堆積していることが分かる。(図 3-1) ¹² 昔、高知平野は海であった。河川からの堆積物や過去の南海地震による土地の隆起により高知平野は現在のものとなっている。前章で分析したとおり、沖積層が厚いと木造建物の被害率は高くなる。高知の中心市街地である高知街地区、南街地区、下知地区、さらに、比較的最近発展してきた大津地区や高須地区など沖積層が厚い地区が高知市には多い。

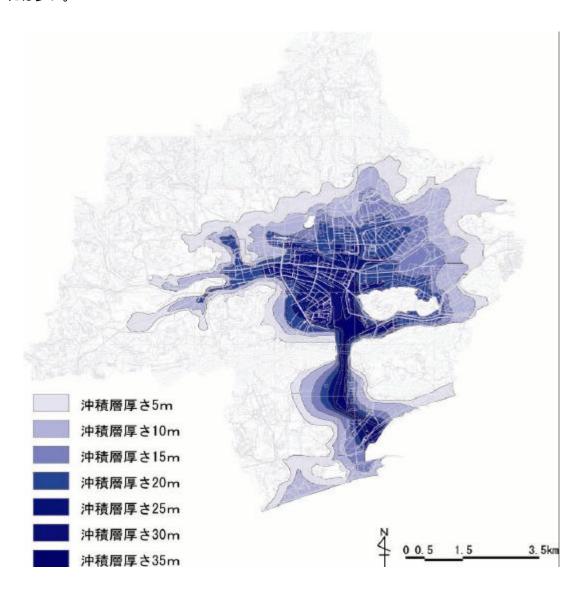


図 3-1 高知市の沖積層の厚さ分布図

出典(図3-1):「高知地盤図」/高知地盤図編集委員会/1992.3.1/

木造建物の現況 3-2.

高知市は全建物数に対する木造建物の割合が高い。神戸市の木造建物の割合が約60%だ ったのに対し、高知市では木造建物 13 が全建物数 103778 棟中 74135 棟であり、全体の 71.4%を占めている。さらに、木造建物の中でも新耐震以前の基準法で建てられた木造建物 は 48773 棟あり、木造建物全体の 65.7%を占めている。前章で述べたように、新耐震以前 の基準法で建てられた木造建物はもともとの耐震性能が低く、さらに年月が経っているた め老朽化が進んでいる恐れがある。阪神・淡路大震災においても、倒壊や半壊など大きな 被害を受けた木造建物の多くは新耐震以前の基準法で建てられ、さらに老朽化により耐震 性能が低くなった建物であったと報告されている。

構造種別	棟数(棟)	%	構造種別	棟数(棟)	%
2×4	224	0.2	RC 造	4499	4.3
CB 造	1,557	1.5	S造	13,513	13.0
パイプ造	7	0.0	SRC 造	940	0.9
プレハブ	7,284	7.0	土蔵造	121	0.1
レンガ造	37	0.0	木造	74,135	71.4
軽量 S 造	1,428	1.4	その他	33	0.0
			合計	103,778	100.0

表 3-1 高知市の構造別建物構成

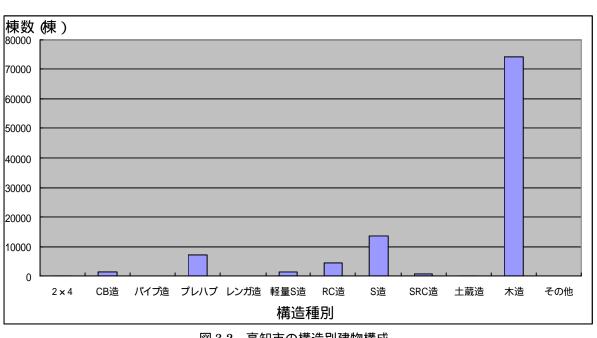


図 3-2 高知市の構造別建物構成

出典 (表 3-1、図 3-2):「高知市課税台帳」/2000.1/

4. 木造倒壊危険地区の抽出方法

4-1. 抽出方法のフロー

木造倒壊危険地区の抽出は、図 4-1 のフローに従って行う。1. 高知市から調査対象地区を即地的に抽出する。2. 調査単位を街区と設定する。3. 沖積層厚さの分布現況から、0m~5m、5m~25m、25m~35m、35m以上の 4 項目を指標とする。4. 木造建物は、全建物数、木造建物数、昭和 55 年以前の木造建物数、建設年代別建物数の現況から、木造建物の比率、建設年代別建物数を指標とする。5. この 3 つの指標を組み合わせ、木造倒壊危険地区を抽出する。

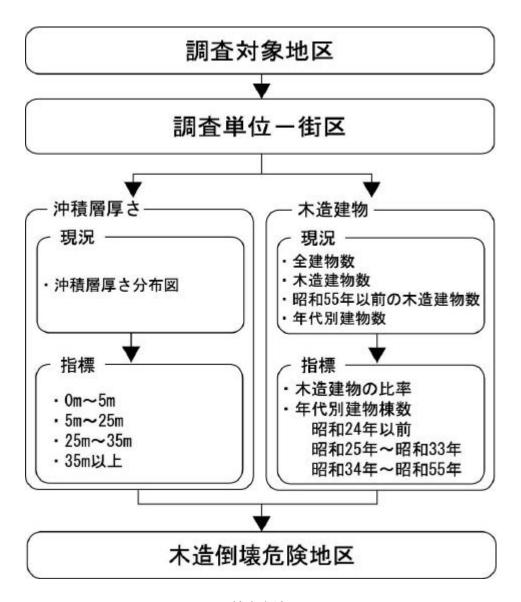


図 4-1 抽出方法のフロー

4-2. 調査対象地区・調査単位の設定

本研究では行政区分や町丁目毎に危険度の算出を行うのではなく、即地的に木造倒壊危 険地区の抽出を行う。即地的な抽出の利点として、1.対象以外の地区を省くことができる。 2. 実際の被害に近い想定ができる。3. 細かく分節できるなどが挙げられる。木造倒壊危 険地区抽出には地理情報システム (GIS)を用いる。使用する GIS データは、高知県から の委託研究により、高知工科大学中田研究室で作成した「南海地震データベース」を用い る。筆者は学部3年の頃からデータベースの構築に携わっている。「南海地震データベース」 は高知市の地震防災をより詳細に行う目的で作成された地理情報システムを用いたデータ ベースである。データベースには現在、建物データ、地盤データ、ライフラインデータが ある。今回は、建物データの木造建物のデータと地盤データの沖積層のデータを用いた。 木造建物データには、住所(地番) 構造種別、用途、1F 床面積、合計床面積、階層、屋 根部材、建設年号、建設年が入力されている。木造建物データのデー多数は 61,189 棟であ る。作成方法は、高知市の課税台帳に掲載されている上記の建物データを、高知市のデジ タルの地図に統合したものである。デジタル地図は、㈱ダイケイのダイケイマップを使用 している。座標系は平面直角座標系第 4 系である。沖積層のデータは、高知地盤図に掲載 されている沖積層深さ分布図をデジタル化したものである。(図 3-1)使用した GIS ソフト は Arc view3.2a を用い作成した。木造倒壊危険地区の抽出に使った GIS ソフトも同様であ る。この南海地震データベースを用いて木造倒壊危険地区の抽出を行う。

まず、調査対象地区の設定を行う。山地、河川、海、農地は、木造建物が存在しないか、若しくは極わずかである。木造建物が存在しない場合は、倒壊する危険性もない。よって、高知市全域から、木造建物が倒壊する危険性のない山地、河川、海、農地を除き、主に宅地を調査対象地区とする。山地と調査対象地区との境界は、等高線を境界とするのではなく、山沿いの建物の有無を地図上で目視し判断する。河川、海、農地も同様に地図上で判断する。

次に調査単位を設定する。調査単位をメッシュとした場合、被害想定は抽象化されて表される。抽象化された被害想定は、実際の防災計画では意味をなさない場合が多い。実際の防災計画は、道路や建物の配置など、実際の都市に即した計画でなくてはならないと考える。本研究では、プライバシー問題などデータ上の制約を加味し、その結果、街区を調査単位とする。この調査単位をさらに、高知における沖積層厚さによって分割する。沖積層厚さを 0m~5m未満、5m~25m未満、25m~35m未満、35m以上の4つに分類し、各々の厚さの境目に境界を引く。その結果、高知市において 361 地区の調査単位を設定した。(図4-2)設定した調査単位の面積は 5,327.1ha、高知市全体の約 36.7%である。

次に、調査単位を沖積層の厚さで分類した。(図 4-3)最も厚い 35m 以上の地区が 5 地区、 面積にして 14.4ha、調査対象地区の約 0.2%、25m~35m未満の地区が 55 地区、面積にして 401.6ha、調査対象地区の約 7.5%、5m~25m未満の地区が 177 地区、面積にして 2,495.0ha、調査対象地区の約 47.6%、0m~5m未満の地区が 124 地区、面積にして

2,416.2ha、調査対象地区の約 46.1%を占めている。

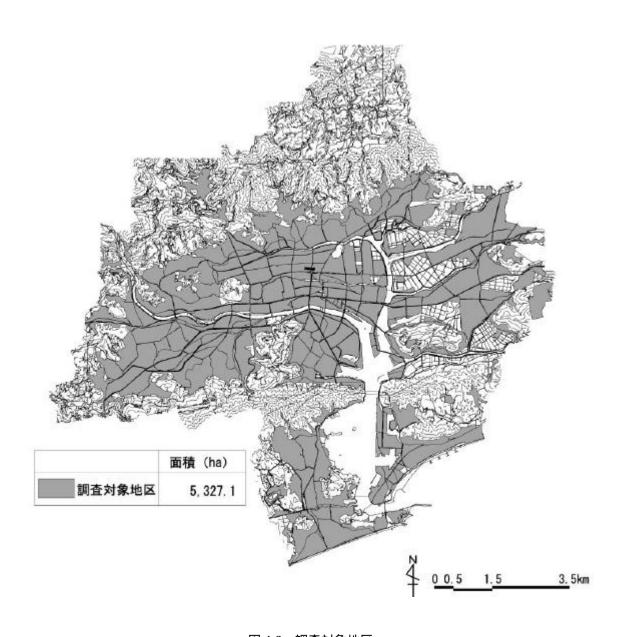


図 4-2 調査対象地区

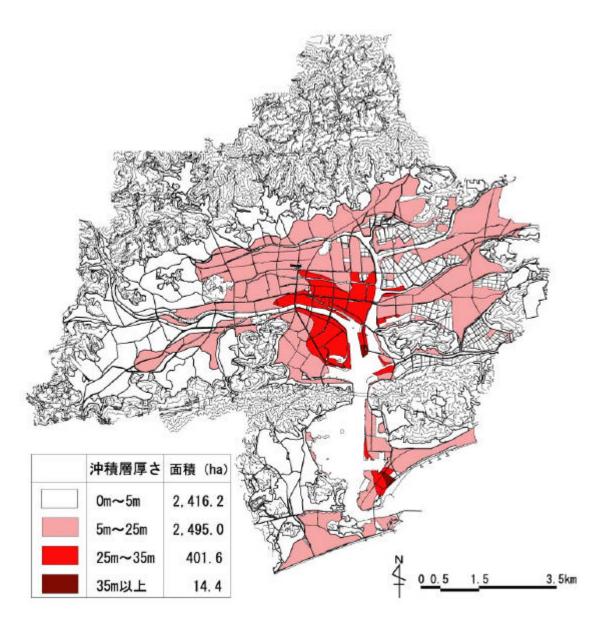


図 4-3 沖積層厚さによる分類

4-3. 木造建物の割合による抽出

調査対象地区は木造建物棟数がそれぞれ異なっている。各地区の中に古い木造建物がどれだけ占めいているか、その割合を求める。そのため、各地区の木造建物の割合を求め、古い木造建物がどれだけ存在するかを表す。木造建物の割合とは、調査対象地区内の全木造建物棟数のうち、新耐震以前の建築基準法で建てられた木造建物棟数の割合である。今回は、建物1棟1棟を対象としている。そのため、面積に占める木造建物の割合(密集度)は用いていない。新耐震以前の建築基準法とは、昭和56年の改正以前の建築基準法である。新耐震以前の建築基準法で建てられた木造建物は、もともとの耐震性能が低い。第2章の木造建物の特性では、必要壁量、軸組倍率の変化を挙げた。(表2-8-2-11)新耐震以前の基準法のでは、現行の基準法と比べ、必要壁量が少ないことが分かる。壁が少なくなることは、地震に対する抵抗力や建物の剛性が低くなる。すなわち、地震に対して被害を受けやすい木造建物となる。また、古い建物は、部材の老朽化によりさらに耐震性能が低くなっている可能性が高い。その結果、新耐震以前の建築基準法で建てられた木造建物が多い地区は、地震により倒壊被害を受けやすい地区となる可能性が高い。

抽出方法としては、各地区の木造建物の割合を算出する。算出した割合を 0%~20%未満、 20%~40%未満、40%~60%未満、60%~80%未満、80%以上の 5 項目に分類する。

80%以上を占めている地区が面積にして 1,548.6ha あり、調査対象地区の約 29.1%、高知市全体の約 10.7%を占めている。さらに割合の高い地区は、高知市の中心市街地に多く分布していることが図 4-4 より読み取れる。

4-4. 木造建物の棟数による抽出

次に、調査対象地区の木造建物棟数を調べ、木造建物が多い地区を抽出する。例えば、 異なる2つの地区A、Bにおいて木造建物棟数がそれぞれ10棟、100棟であり、木造建物 の割合が80%以上だとしても、両者の木造倒壊危険度は大きく違う。上記の割合だけでは その地区が木造建物の多い地区とは断定できない。各地区の木造建物を絶対値で抽出する 必要がある。

各年代の新耐震以前の建築基準法で建てられた木造建物の棟数によって地区を抽出する。 建築基準法が制定または改正された年代に着目し、建設年代を分類する。主に木造建物の 耐震性能に影響を及ぼす必要壁量、軸組の倍率(表 2-8 - 2-11)等が制定及び改正された昭 和 25 年、昭和 34 年、昭和 56 年を境とし、昭和 24 年以前、昭和 25 年 ~ 昭和 33 年、昭和 34 年 ~ 昭和 55 年の 3 つの年代に分類する。昭和 56 年以降の現行の基準法よって建てられ た木造建物が多い地区は除く。調査対象地区から各年代に建てられたの木造建物の棟数に よって地区を抽出した。(図 4-5)

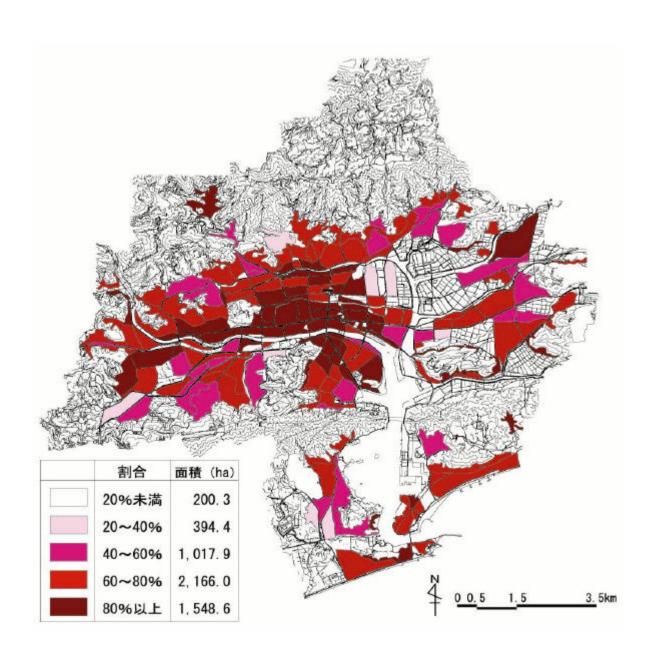


図 4-4 木造建物の割合による抽出

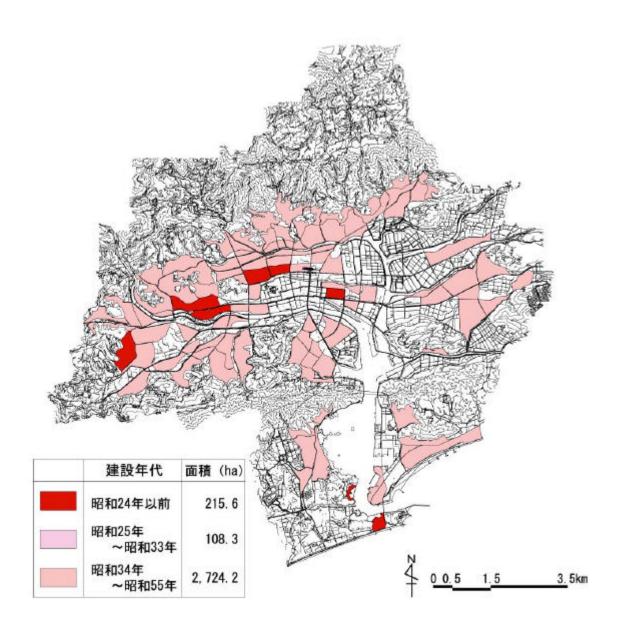


図 4-5 木造建物の棟数による抽出

4-5. 新耐震以前の建築基準法で建てられた木造建物が多い地区の抽出

新耐震以前の建築基準法で建てられた木造建物の多い地区を抽出する。新耐震以前の建築基準法で建てられた木造建物は耐震性能が低く、かつ老朽化している。すなわち、新耐震以前の基準法で建てられた木造建物が多いということは、倒壊する危険性の高い木造建物が多いということである。

新耐震以前の建築基準法で建てられた木造建物が多い地区の抽出方法は、木造建物の割合による抽出結果と木造建物の棟数による抽出結果をオーバーレイ(重ね合わせ)する。その結果を図4-6に示す。図4-6の建設年代とは各建設年代の木造建物が存在する地区(4-4)割合とは木造建物の割合(4-3)割合(%)とは、調査対象地区に対する割合を表している。

木造建物が多い地区において、昭和24年以前に建てられた木造建物があり、新耐震以前の建築基準法で建てられた木造建物が80%以上の地区は、倒壊する危険性が高い木造建物が多い地区である。このような地区が高知市には8地区あり、面積にして215.6ha、調査対象地区の約4.0%を占めている。昭和34年~昭和55年の間に建設された木造建物が非常に多く、図4-6からは、その年代に建てられた木造建築物が高知市の郊外に多くなっていることが分かる。高知市全体の広い範囲において新耐震以前の建築基準法で建てられた木造建物が多くなっているため、被害も広範囲に及ぶ可能性がある。

4-6. 木造倒壊危険地区の抽出

第 2 章木造建物の被害特性で、木造建物の被害には、沖積層の厚さと建設年代(固有周期)が関係していることを分析した。沖積層が厚く、かつ木造建物が古い場合に大きな被害を生じることが明らかになった。それは沖積層が厚いほど、木造建物が古いほど被害が大きくなる。今回分析した被害特性を踏まえ、新耐震以前の建築基準法で建てられた木造建物が多い地区の抽出結果に、沖積層厚さを加え、木造倒壊危険地区を抽出する。

木造倒壊危険地区の抽出方法は、新耐震以前の建築基準法で建てられた木造建物が多い地区の抽出結果と沖積層厚さをオーバーレイする。調査対象地区を設定する際、各地区は沖積層厚さを1つの境界に分類している。そのため、抽出された各地区において沖積層厚さで抽出することができる。抽出された木造倒壊危険地区において、どの地区が最も危険かを知るため、危険度ランクを設定する。その結果、危険度 A~N までのランク付けをした。危険度ランクの設定は次項で詳しく説明する。

木造倒壊危険地区の抽出結果は、第5章結論で示す。

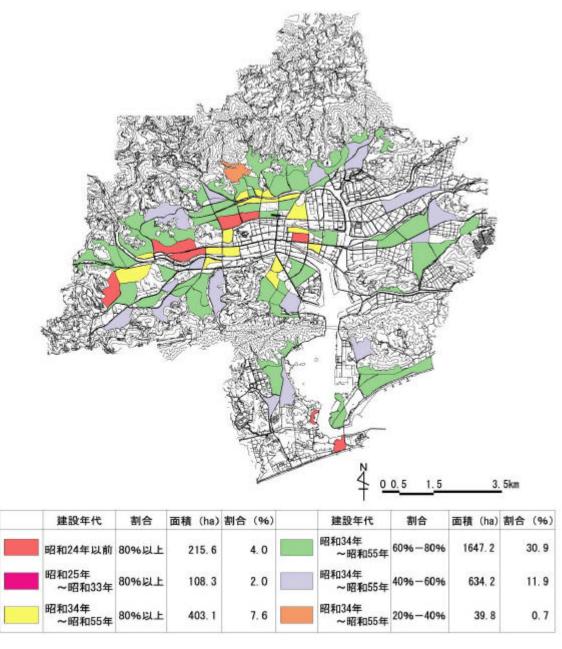


図 4-6 新耐震以前の建築基準法で建てられた木造建物が多い地区

4-7. 危険度ランク付け

前々章で明らかになったように、木造建物は建設年代が古いほど、さらに沖積層が厚いほど被 害率が高くなる。そこで、木造倒壊危険地区の抽出結果をもとに、新耐震以前の建築基準法で 建てられた木造建物の割合が高く、かつ年代の新耐震以前の建築基準法で建てられた木造建物 の棟数が多く、かつ沖積層が厚い地区を危険度ランクの高い地区として設定する。

木造建物の建設年代別の被害率には、沖積層の厚さの違いによる被害率は、関東大震災の 被害結果を用いる。 6 (表 4-1)阪神・淡路大震災の被害結果を用いる。 4 (表 4-2)。こ の両者の地震は、それぞれ沖積層の厚さによる被害と建設年代による被害において、過去 発生した地震の中で最も特徴的な地震である。しかし、2 つの地震が発生した時期は約 70 年開いている。そのため、地震が発生した際の木造建物の現状は大きく異なる。特に、関 東大震災での被害率を現在に当てはめた場合、高く見積もっていることとなる。それは、 関東大震災が発生した 1923 年は、建築基準法が制定されてない。そのため、現在より木造 建物の耐震性能が低いと考えられるからである。同じく、地震規模の違いの問題も挙げら れる。このように、両者の地震の被害率を掛け合わせた算出結果を、実際の被害率として 用いるには問題がある。そこで、危険度ランクの設定では、算出結果を危険度ランクを設 定する指標として用いる。すなわち、関東大震災の被害率が、現在と比べて高く見積もら れているとしても、全体の被害率の底上げとなるだけで、危険度ランクの順序には影響を 及ぼさないと考える。

ランク付けの方法は、1. 木造建物の割合によって分類する。古い木造建物の占める割合 が高い地区は木造倒壊危険の危険性が高い。2. 建設年代別と沖積層厚さ別の被害率を乗ず る。この2つの被害率を乗ずることによって、双方を考慮した被害率を算出する。しかし、 この算出結果を被害率とするのには上記のような問題がある。そのため、算出した結果を 危険度指標として扱う。乗ずる理由としては、建設年代が古く、かつ沖積層が厚い場合に 被害が大きくなるのであって、どちらか一方が、良い場合は被害が小さくてすむからであ る。3. ランク付けを行う。抽出された木造倒壊危険度地区について、この危険度指標の高 い方からアルファベット順にランク付けを行う。表 4-3 に危険度ランクの一覧を記す。表の 割合とは木造建物の割合(4-3)建設年代とは各建設年代の木造建物が存在する地区(4-4) 厚さとは沖積層厚さ表している。

表 4-1 関東大震災における沖積 表 4-2 阪神・淡路大震災における木造建物 層厚さ別の被害率

沖積層厚さ	被害率(%)
0m ~ 5m	5
5m ~ 25m	7
25m ~ 35m	18
35m以上	24

の建設年代別の倒壊率

建設年代	被害率(%)
昭和24年以前	70
昭和25年~昭和33年	64
昭和34年~昭和55年	42
昭和56年以降	14

出典 (表 4-1):「地震と建築」/大崎順彦/1983.8.22/岩波新書/P.127

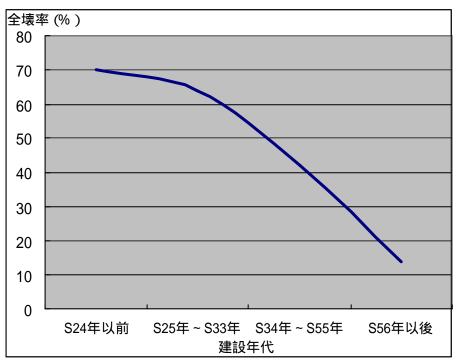


図 4-7 阪神・淡路大震災における木造建物の 建設年代と倒壊率の関係

出典(表 4-2): 「阪神・淡路大震災調査報告木造建築物・建築基礎構造」/ 日本建築学会 / 1998.3.20 / P.67

表 4-3 抽出結果の危険度ランク

割合	建設年代	厚さ(m)	危険度指標	危険度ランク
80%以上	S24 以前	25m~35m	12.6	A
80%以上	S34 ~ S55	25m~35m	7.6	В
80%以上	S24 以前	5m ~ 25m	4.9	C
80%以上	S25 ~ S33	5m ~ 25m	4.5	D
80%以上	S24 以前	0m ~ 5m	3.5	E
80%以上	S25 ~ S33	0m ~ 5m	3.2	F
80%以上	S34 ~ S55	5m ~ 25m	2.9	G
80%以上	S34 ~ S55	0m ~ 5m	2.1	Н
60% ~ 80%	S34 ~ S55	25m~35m	7.6	I
60% ~ 80%	S34 ~ S55	5m ~ 25m	2.9	J
60% ~ 80%	S34 ~ S55	0m ~ 5m	2.1	K
40% ~ 60%	S34 ~ S55	5m ~ 25m	2.9	L
40% ~ 60%	S34 ~ S55	0m ~ 5m	2.1	M
20% ~ 40%	S34 ~ S55	25m~35m	7.6	N

5. 結論

5-1. 木造倒壊危険地区

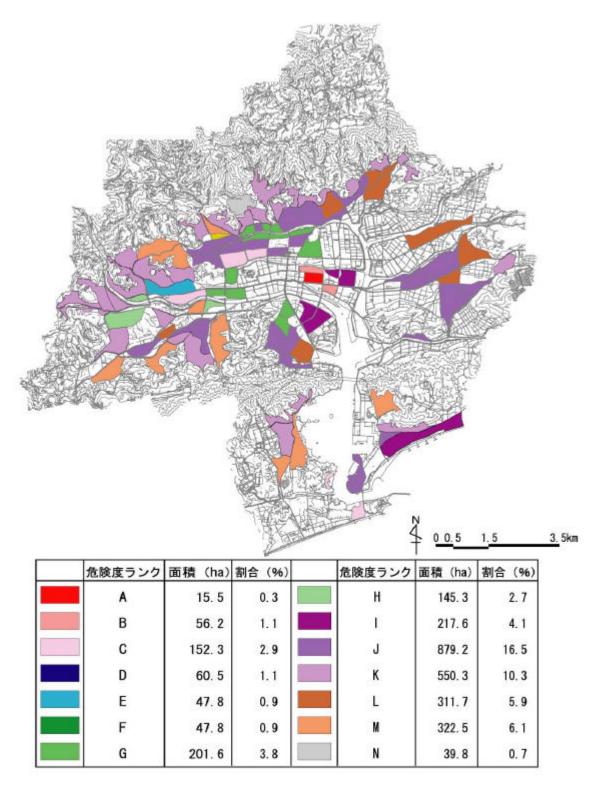


図 5-1 木造倒壊危険地区

5-2. 考察

本研究は、先にも述べたとおり、沖積層の厚さと木造建物の建設年代の関係から木造倒壊危険地区の抽出を行った。ここで今後の課題を整理する。

木造倒壊危険地区の抽出により高知市において最も木造倒壊危険性の高い地区が抽出された。(図 5-2 - 危険度ランク A) 危険度ランク A の地区は、建物が 80%以上、かつ昭和 24 年以前と昭和 34 年~昭和 55 年の間に建てられた木造建物が存在し、かつ沖積層の厚さは 25m~35mとなっている。面積は 15.5ha、調査対象地区の 0.3%を占めている。被害度ランク上位 3 位を合わせると、面積は 224ha、対象地区全体の 2.9%を占めている。新耐震以前の建築基準法で建てられた木造建物が多い地区を見てみると、被害度ランク A の地区以外にも、新耐震以前の建築基準法で建てられた木造建物が多い地区があるが、沖積層が厚くないため、被害度ランクは高くない。また、個々の地区の被害度ランクは低いものの、隣り合う地区が抽出され、木造倒壊危険地区が密集している場合がある。その場合、被害が広範囲に及ぶことが予想される。

本研究では、沖積層の厚さと木造建物の建設年代に着目し、木造建物の抽出をおこなった。その結果、これまでにはなかった両者を重ね合わせた被害想定を行うことができた。これは、従来のように両者の被害想定を個々に行うよりはるかに精度よく被害想定を行うことができた。また、従来の何百 m のメッシュ単位ではなく、道路に囲まれた街区を調査単位として設定した。その結果、実際の都市計画、防災計画レベルでの議論ができる抽出結果となった。

今回の抽出は、地盤については、沖積層厚さに着目した。しかし、木造建物の倒壊に影響を与える地盤の要因として、液状化の危険性が挙げられる。阪神・淡路大震災では、液状化による木造建物の被害は注目されていない。液状化が注目を浴びた新潟地震でも液状化による木造建物の被害は明示されていない。しかし、実際には、木造建物の不等沈下などの液状化による被害は発生している。液状化の危険性を考慮した場合、今回の抽出で安全とされた地区が、危険地区となる可能性はあると考える。

木造建物については、建設年代に着目した。建設年代のほかに、平面形状や、立面形状、 壁率なども木造倒壊の要因となるものが挙げられる。中でも、壁率は木造建物の倒壊に大 きな影響を持っている。これらの要因を考慮した場合、液状化の場合と同様、今回の抽出 で安全とされた地区が危険地区となる可能性があると考える。

街区について、防災上危険とされているのは、木造建物の倒壊だけではない。災害時には火災、瓦礫による道路の封鎖、ライフラインの切断など木造建物の倒壊以外にも様々な被害が発生する。建物密集地の整備、避難路の設定、ライフラインの配置、公園などのオープンスペースの配置など、都市基盤全体の整備状況を把握し、それに基づく被害想定、さらには、防災計画を行わなければならないと考える。以上の点を考慮することにより、被害想定の精度を上げ、都市基盤全体での被害想定を行えると考える。今後の研究に期待する。

6. 付録

6-1. 建築基準施工令第 46 条「構造耐力上必要な軸組等」の変遷 9 10

表 6-1 建築基準施工令第 46 条「構造耐力上必要な軸組等」の変遷

<第1項>	昭和 25 年制定	昭和 34 年改正	昭和 55 年改正	昭和 62 年改正
				. —
	構造耐力上主要な部分で 	(追加)方づえの	変更なし	変更なし
	ある壁、柱及び横架材を木	定義の変更		
	造とした建築物にあって	その接着する柱が		
	は、すべての方向の水平力	添木等によって補		
	に対して安全であるよう	強されているもの		
	に、各階の張り間方向及び	に限る。		
	けた行方向に、それぞれ壁			
	又は筋かいを入れた軸組			
	をつりあいよく配置しな			
	ければならない。但し、方			
	づえ、控柱又は控壁があっ			
	て構造耐力上支障がない			
	場合おいては、この限りで			
	はない。			
<第2項>	昭和 25 年制定	昭和34年改正	昭和 55 年改正	
	床組及び小屋張り組の隅	変更なし	(追加)構造計算	草及び実験によっ
	角に火打材を使用し小屋		て安全とされた場合は火打材を設	
	組には振れ止めを設けな		けなくてもよい。	
	ければならない。			
	昭和 62 年改正			

(改正)前項の規定は、次の各号の一に該当する木造の建築物又は建築物の構造部 分については、適用しない。 一 次のイからホ間で掲げる基準に適合するもの イ 構造耐力上必要な部分である柱及び横架材(間柱、小ばりその他これらに類す るものを除く。以下この号において同じ。) に使用する集成材その他の木材の品質 が、当該柱及び横架材の強度及び耐久性に関し建設大臣の定める基準に適合してい ること。 ロ 構造耐力上必要な部分である柱の脚部が、一体の鉄筋コンクリート造の布基礎 に緊結している土台に緊結し、または鉄筋コンクリート造の基礎に緊結しているこ と。 ハ 構造耐力上必要な部分である柱及び横架材が次に掲げる基準に適合している こと。ただし、2以上の部材を組み合わせるものであって、構造計算又は実験によ って構造耐力上安全であることが確かめられたものについては、この限りでない。 (1) 小径が 15cm 以上であること。 (2) 木材の繊維方向と直行する断面の面積が300cm²以上であること。 二 構造耐力上必要な部分である継手又は仕口が、構造計算又は実験によってその 部分の存在応力を伝えるよう緊結していることが確かめられたものであること。 ホ イからニまでに掲げるもののほか、建設大臣の定める基準に従った構造計算に よって、構造耐力上安全であることが確かめられた構造であること。 二 方づえ(その接着する柱が添木によって補強されているものに限る。)、控柱又 は控壁があって構造耐力上支障がないもの <第3項> 昭和25年制定 1 階数が2以上又は延べ面積が50m2をこえる木造の建築物 2 必要壁量 最上階又は階数が1の建物 │ 最上階の直下階 その他の階 重い屋根の建物 12 16 20 軽い屋根の建物 8 12 16 水平震度を0.3以上と指定した区域内における場合については、数値を2倍としな 3 ければならない。 昭和34年改正 1 変更なし

2	軸組の種類と倍率						
	軸組の種類	倍率					
	土塗壁で裏返塗り	を壁で裏返塗りをしないものを設けた軸組			0.5		
	土塗壁で裏返塗り						
	設けた軸組						
	厚さ 1.5 センチメ	ートルで幅 9 センチメートル	1				
	若しくは径9ミリ	メートルの鉄筋又はこれらと					
	以上の耐力を有す	る筋かいを入れた軸組					
	木ずりその他これ	に類するものを柱及び間柱の					
	に打ちつけた壁を設けた軸組						
	軸組の柱の三つ割	ノメー	1.5				
	トル以上の鉄筋又	はこれと同等以上の耐力を有	する				
	筋かいを入れた軸組						
	木ずりその他これに類するものを柱及び間柱の両面						
	に打ちつけた壁を						
	軸組の柱の二つ割	3					
	トル以上の鉄筋又	する					
	筋かいを入れた軸組						
	軸組の柱と同じ寸	法の木材の筋かいを入れた軸	4.5				
	(二)から(四)	までに掲げる筋かいをたすき	(二)から(四)までの				
	入れた軸組		それぞれの数値の2倍				
	(五)に掲げる筋	(五)に掲げる筋かいをたすき掛けに入れた軸組 (一)から(四)までに掲げる壁と(二)から(七)			6		
	(一)から(四)				(一)から(四)までの		
	までに掲げる筋が	いとを供用した軸組		それぞれの数値と(二)			
					までのそれぞ		
	れの数値の和						
	[·		必要壁量				
		最上階又は階数が1の建物	最上階	の直下階	その他の階		
	重い屋根の建物	15	24		33		
	軽い屋根の建物	12	21	30			
3		上と指定した区域内における	場合につ	いては、数	7値を1.5倍とし		
	なければならない。						
	昭和 55 年改正						
1	変更なし						

2	軸組の種類と倍率									
	軸組の種類				倍率					
	土塗壁又は木ずりその他これに類するものを柱				0.5					
	及び間柱の片面に打ちつけた壁を設けた軸組									
	木ずりその他これに類するものを柱及び間柱の									
	両面に打ちつけた壁を設けた軸組									
	厚さ 1.5 センチメートルで幅 9 寸	きさ 1.5 センチメートルで幅 9 センチメートルの				1				
	木材若しくは径9ミリメートルの鉄筋又はこれら と同等以上の耐力を有する筋かいを入れた軸組									
	厚さ3センチメートルで幅9センチメートルの木									
	┃┃ ┃┃材又はこれと同等以上の耐力を有する筋かいを				15					
	入れた軸組									
	厚さ 4.5 センチメートルで幅 9 センチメートルの				2					
	┃ ┃ 木材又はこれと同等以上の耐力を有する筋かい									
	を入れた軸組									
	9 センチメートル角の木材又はる	これと同	等以上の		0					
	耐力を有する筋かいを入れた軸組 (二)から(四)までに掲げる筋かいをたすき掛けに入れた軸組 (五)に掲げる筋かいをたすき掛けに入れた軸組 その他建設大臣が(一)から(七)までに掲げる 軸組と同等以上の耐力を有するものと認めて定める軸組				3					
					(二)から(四)までのそれ					
					ぞれの数値の2倍					
					5					
					0.5 から 5 までの範囲において建設大臣が定める数値					
	(一)又は(二)までに掲げる壁と(二)から(六)				(一)又は(二)のそれぞれ					
	までに掲げる筋かいとを供用した軸組				の数値と(二)から(六)ま					
						でのそれぞれの数値との和				
			T							
		平屋	2 階	建	建 3 階建					
			1階	2階	1階	2階	3 階			
	屋根および壁の重い建築物	15	33	21	50	39	24			
	屋根の軽い建築物	11	29	15	46	34	18			
3	変更なし									
4	見付面積による風圧力の考慮									

	昭和 62 年改正						
	(改正)床組及び小屋張り組の隅角に火打材を使用し小屋組には振れ止めを設けな						
	ければならない。ただし、構造計算及び実験によって安全とされた場合は火打材を						
	設けなくてもよい。						
<第4項>	昭和 25 年制定	昭和34年改正	昭和 55 年改〕	F改正 昭和 62 年改正			
	前項の規定による	(削除)	変更なし		(改正)昭和 55年		
	軸組の長さのう				改正第3項が移動		
	ち、その 2 分の 1						
	以上は筋かいを入						
	れた軸組でなけれ						
	ばならない。						
<第5項>	昭和 25 年制定						
	軸組の種類と倍率						
	軸組の種類 軸組の柱の五つ割以上の木材又は径 9 ミリメートル						
					1		
	以上の鉄筋若しくはこれと同等の強度を有するその						
	他の鉄材の筋かいを入れた軸組						
	軸組の柱の三つ割以上の木材又は径 12 ミリメートル 以上の鉄筋若しくはこれと同等の強度を有するその				2		
	他の鉄材の筋かいを入れた軸組						
	軸組の柱の二つ割り	以上の木材又は径 16	ミリメートル 3				
	以上の鉄筋若しくはこれと同等の強度を有するその						
	他の鉄材の筋かいを入れた軸組 4 軸組の柱と同じ寸法の木材の筋かいを入れた軸組 4 (一)から(四)までに掲げる筋かいをたすき掛けに (一)から(四)までの						
	入れた軸組			それぞれの数値の 2 倍			
	土塗壁、木ずりした	0.5					
	けた軸組						
	(一)から(五)までに掲げる筋かいと(六)に掲げ						
	┃ る壁とを併用した軸	る壁とを併用した軸組			それぞれの数値と(六)		
				の数値との和			
	昭和 34	年改正		昭和 55 年改正			
	(削除) 変更なし				なし		

6-2. 個別の抽出結果



図 6-1 危険度ランク A の地区



図 6-2 危険度ランク B の地区



図 6-3 危険度ランク C の地区



図 6-4 危険ランク D の地区



図 6-5 危険度ランク E の地区



図 6-6 危険度ランク F の地区

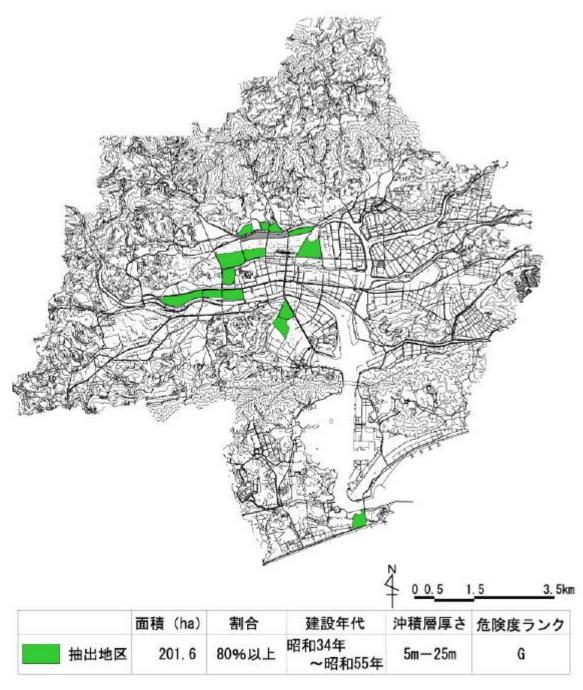


図 6-7 危険度ランク G の地区



図 6-8 危険度ランクHの地区

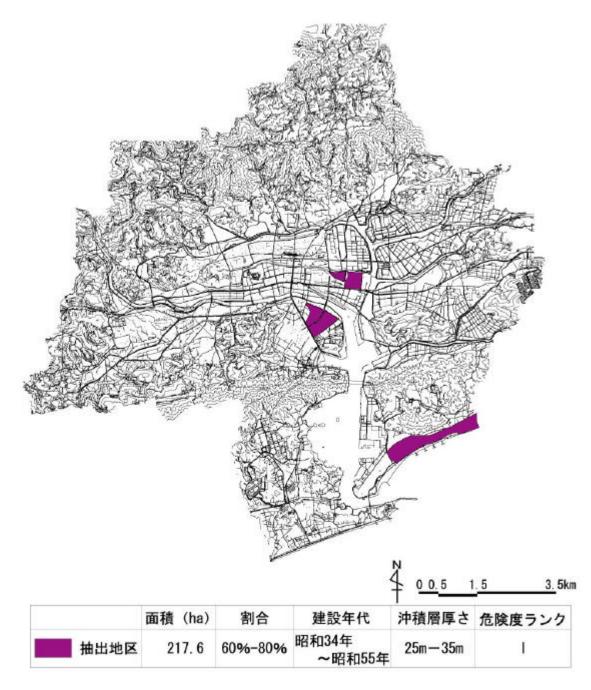


図 6-9 危険度ランク I の地区

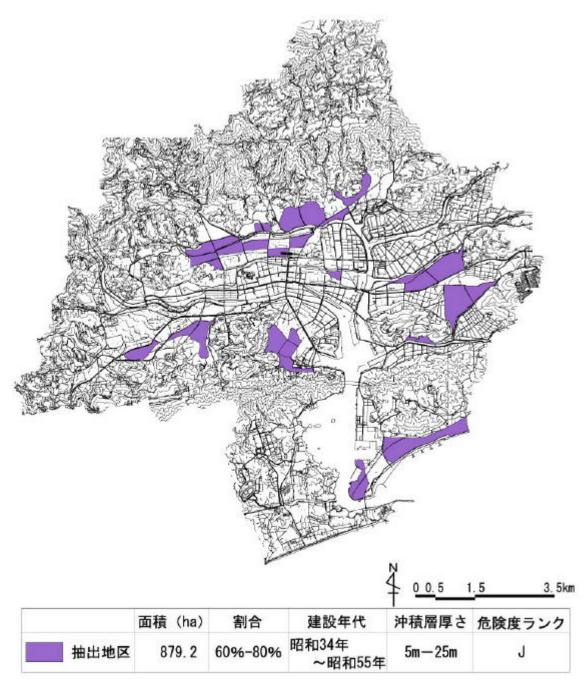


図 6-10 危険度ランク」の地区

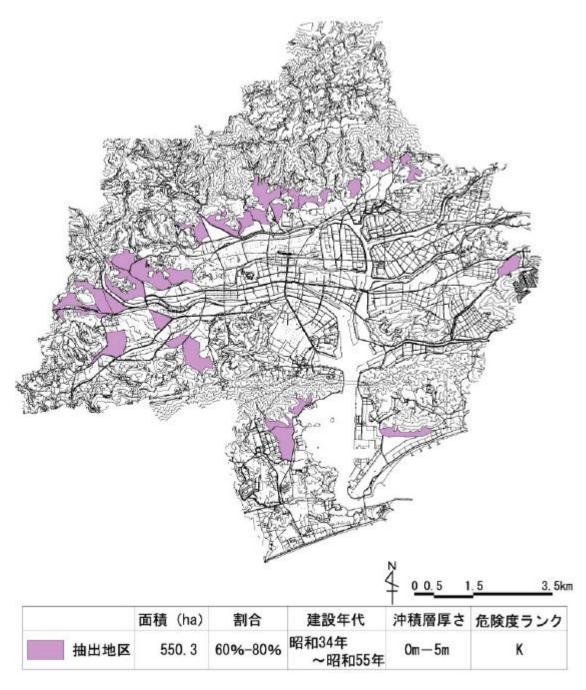


図 6-11 危険度ランク K の地区

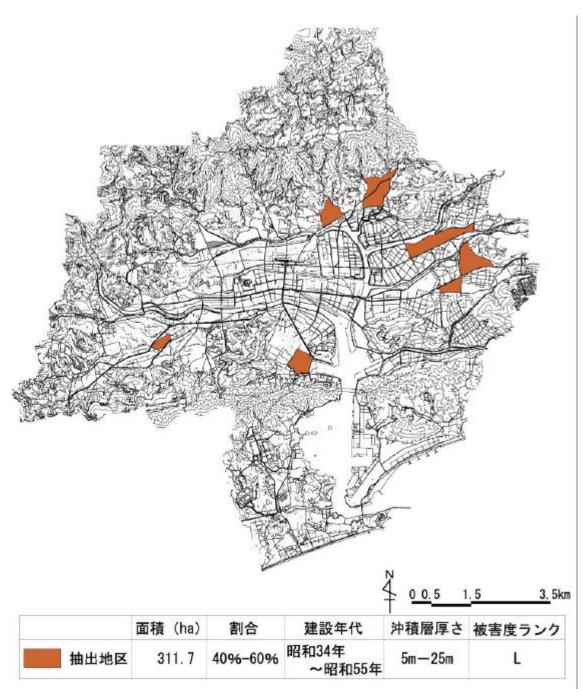


図 6-12 危険度ランク L の地区

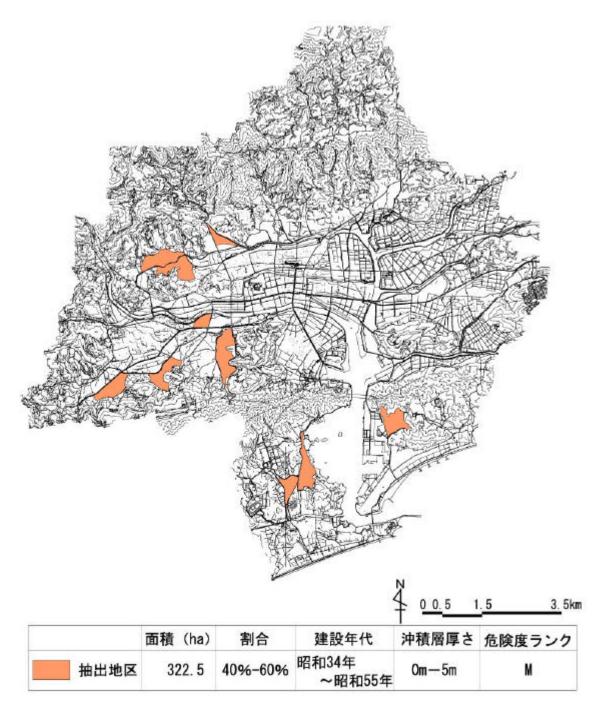


図 6-13 危険度ランク M の地区



図 6-14 危険度ランクNの地区

木造倒壊危険地区の現状

木造倒壊危険地区の抽出結果により被害度ランクAとなった地区の現状を調査した。図4-27 に該当地区における建設年代の木造建物棟数、木造以外の建物、周辺の防災マップをまとめた。該当地区周辺には小学校や救急病院があり、地震時には収用避難所、災害拠点病院としての機能を果たす。また、近くに消防署があり、地区内には水路もあるため、火災発生時などには有効である。公園、駐車場もありオープンスペースの機能を果たすことができる。また、該当地区の南は第 1 次緊急輸送(啓開)道路、東は予備道路など、外側は比較的幅員の広い道路に囲まれている。しかし、地区内部は幅員 5 m以下の一方通行の道路が多く、非常に入り組んだ地区である。そのため、木造建物が倒壊すると道路を塞ぎ、緊急車両の通行に支障が出る危険性が高い。また、建物同士も密集して建っているため火災等の被害を大きくする可能性がある。

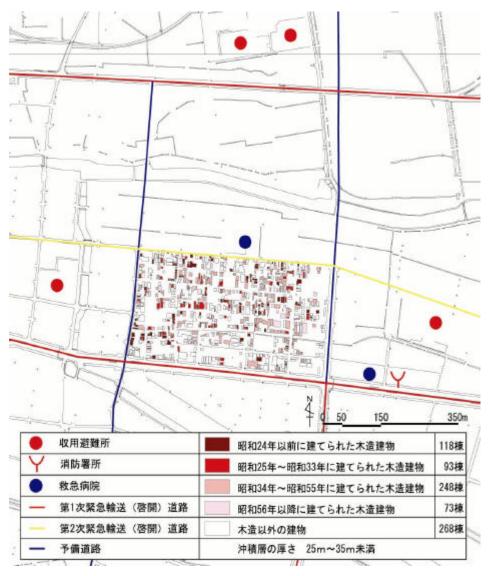


図 6-15 被害度ランクAの地区の建物構成と周辺の防災マップ

謝辞

高知工科大学大学院中田研究室において、南海地震データベースを構築することに大学院での研究期間の大半を費やす結果となりました。そして、日本中でも類を見ない有意義なデータベースを完成させることができました。南海地震データベースの構築に協力してくださった皆様に感謝したいと思います。

高知県庁消防防災課・酒井浩一様、高知市役所総務課防災対策室・山本聡様には、南海地震データベースを構築する上で多くの貴重な資料を提供していただきました。株式会社相愛・中村和弘様には、高知市の地盤に関する資料を提供していただきました。山本構造設計事務所・山本幸廷様には建築基準法の変遷に関する資料を提供していただきました。東京大学地震研究所・境有紀様には、地盤の増幅特性に関する資料を提供していただきました。中田研究室の皆さん、高木研究室の皆さんには、南海地震データベースの作成の協力をしていただきました。また、設計実験室の友人や家族は、大きなバックアップとなりました。

本当にありがとうございました。

そして、熱心に時に厳しくご指導くださった、中田愼介先生、大谷英人先生、高木方 隆先生に対し、この場を借りて感謝の意を表したいと思います。

参考文献

- 1「阪神大震災の教訓」/日経アーキテクチュア編/1995.3.30
- 2「東京における直下型地震の被害想定に関する調査報告書」/東京都/東京都総務 局災害対策部防災計画課/平成9年7月
- 3「新潟地震災害調査報告書」
- 4「阪神・淡路大震災調査報告木造建築物・建築基礎構造」/日本建築学会 / 1998.3.20
- 5「高知県地震対策基礎調査報告書」/高知県/高知県地震被害想定調査委員会/平成5年3月
- 6「地震と建築」/大崎順彦/1983.8.22/岩波新書
- 7「限界耐力計算法の計算例とその解説」/国土交通省住宅局建築指導課他/平成13年3月15日/工学図書株式会社
- 8「木造建築を見直す」/坂本功/2000.5.19/岩波新書
- 9「木造住宅の耐震診断と補強方法」/高知県土木部建築科/平成7年5月
- 10「2002 年度版建築基準法令集」/オーム社/2001.11.25
- 11「昭和 42 年研究報告」/東京大学工学部建築学科建築研究所
- 12「高知地盤図」/高知地盤図編集委員会/1992.3.1
- 13「高知市課税台帳」/2000.1/