

1.4 総合的評価手法の検討

本節では、町丁目程度の評価単位で、防災上危険な地区を都市の中から抽出する際の考え方を述べるとともに、総合的に地区の防災性能を把握する際の一助とするため、本総プロでは直接扱っていない既存の被害評価手法の特徴を整理し結果の概要を記述する。

1.4.1 地区の抽出イメージ

本章第1節から第3節までに述べてきたように、地区の防災性能を評価する際には、様々な指標から評価を行うことになる。この指標はそれぞれ、どのような防災上の危険（あるいは安全性）を地区が有するのかを表現することが可能である。しかしながら、評価指標には様々なものがあり、どのようにこれらを扱ったら良いのか分かりづらい点も有する。

分かりやすいという点では、複数の評価指標を束ね、地区として一つの評価指標を提示する方法も考えられる。しかしながら、複数の評価指標を総合的に一つの指標に置き換えることは、置き換えた指標が何を意味するのかが分からなくなるという側面を持つ。防災まちづくりの中では、どのような防災上の危険性（あるいは危険の程度）が存在し、どのような対策を講じなければならないかを検討していく事が求められる。したがって、漠然とした防災上の危険性を提示しても、住民のみならず行政にとっても、何をどうすれば良いのかが分からない。

一方で、それぞれ異なる理論に基づく幹線系道路、および、延焼、アクティビティに関するマクロ評価指標を、工学的に一つの指標に置き換えることは困難であるという側面もある。

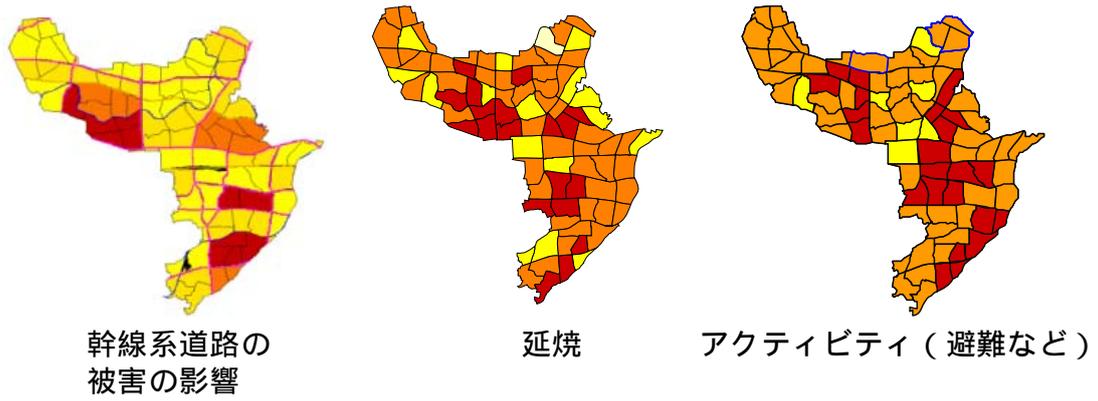
そのため、本研究では複数の指標を一本化することはせずに、複数の評価項目結果を列記し、防災性能を評価する目的に応じて、防災上危険な地区を抽出することとした。

抽出方法のイメージを、表 1.4.1、図 1.4.1、図 1.4.2 に示す。特定の防災性能（延焼のみ、等）によって危険な地区を抽出したい場合は、各指標単独で用いれば良い。一方、総合的に抽出したい場合は、各評価項目ごとに判定される危険度全てにおいて危険と判定された地区、あるいは、危険と判定された項目が多い地区を、施策を実行する対象地区とすることが望まれる。

表 1.4.1 危険な地区の抽出イメージ

評価対象地区	幹線系道路被害の影響	アクティビティ			延焼	抽出結果
		避難	救出・救護	消火*		
町1丁目	緊急活動への支障大	危険性大	危険性大	危険性大	危険性大	全ての面から危険と判定
町2丁目	緊急活動への支障小	危険性小	危険性小	危険性小	危険性大	延焼のみ危険（消火活動によって延焼が防げる可能性有り）
町1丁目	緊急活動への支障大	危険性小	危険性小	危険性小	危険性小	幹線系道路のみ危険
町2丁目	緊急活動への支障小	危険性大	危険性小	危険性小	危険性小	避難のみ危険
町3丁目	緊急活動への支障小	危険性小	危険性小	危険性小	危険性小	危険性は低い

* 右欄の延焼の危険性を含んだ指標となっている。



個々の危険度評価によって得られた結果から、危険な地区を抽出

図 1.4.1 個々の評価結果から抽出するイメージ

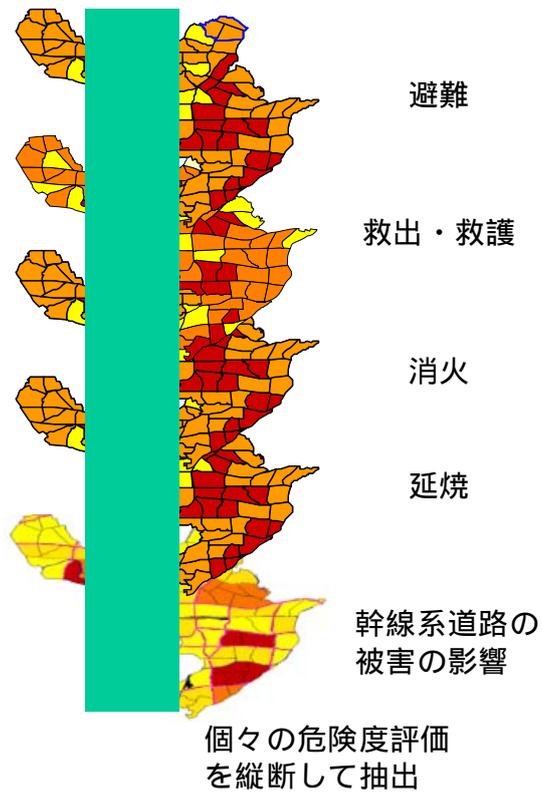


図 1.4.2 評価結果を縦断して抽出するイメージ

1.4.2 既存の地震被害予測手法の整理

様々な防災性能の評価指標から地区の防災性能を評価していくためには、地震の発生から各種被害の予測、性能評価、対策効果の評価までを一元的・総合的に捉えることが必要となる。本総プロでは地震時の一次的被害を前提条件としており、ここでは地震時の一次的被害の算定方法について、地方公共団体で行われている地震被害想定・地域危険度手法を対象として取りまとめた結果の要約を以下に記す。

(1)対象とした地震被害想定資料と取りまとめ概要

各自治体で実施されている地震被害想定調査報告書等から、用いられている被害予測手法の概要及び地震被害想定調査時の留意点等を取りまとめた。

本調査実施に当たっては、損害保険料率算定会の御厚意及び各自治体の了承のもと、損害保険料率算定会が作成した「地震保険調査報告 26 地震被害想定資料集」(平成 10 年 9 月)の内容から抜粋し、さらに、自治体の協力により建設省建築研究所(調査時)へ提供いただいた資料により資料の追加・補足をを行い、取りまとめたものである。なお、対象とした資料は下記の通りである。

- ・都道府県および政令指定都市で行われた地震被害想定調査を対象とする。
- ・基本的に 1995 年以降(兵庫県南部地震以降)に公表された資料のうち、損害保険料率算定会及び建設省建築研究所が入手した報告書等を対象とする。
- ・1995 年以降調査が行われていない、あるいは現在調査を実施中の自治体で、1994 年以前に地震被害想定調査が行われている自治体については、最も新しい調査を対象とする。

損害保険料率算定会では収集した各自治体の報告書から、予測項目及び手法を網羅的に取りまとめている。本調査では損害保険料率算定会(平成 10 年 9 月)を基礎とし、地震動、建物被害、出火、人的被害の予測項目のみ対象とし、資料の追加、留意点の追加、入出力データの早見表の追記を行った(表 1.4.2)。また、地震被害予測の実施手順も整理したが、ここでは紙面の都合上割愛する。

本報告で参考とした資料は表 1.4.3 に示す。表中、調査報告書や地域防災計画など地震被害想定調査に関する資料が収集できた自治体については、収集した資料の発行年および収集した資料の種類を記載した。なお、本報告で参考としているのは、地震被害予測手法であるが、収集した資料の中では手法が明確に示されていない場合もあり、本報告での掲載ができなかったものもある。

表 1.4.2 損害保険料率算定会(平成 10 年 9 月)及び本報告の扱った調査項目

損害保険料率算定会(平成 10 年 9 月)の取りまとめ対象		本報告での対象
地震動の予測		
液状化危険度の予測		
津波の予測		×
地盤崩壊危険性の予測		×
建物被害の予測	地震のゆれによる木造建物被害の予測	
	地震のゆれによる非木造建物被害の予測	
	液状化による被害の予測	×
	地盤崩壊による建物被害の予測	×
	ブロック塀等の被害予測	×
地震時出火件数の予測		
延焼および焼失建物の予測		×
ライフライン被害の予測		×
交通・輸送施設被害の予測		×
土木構造物被害の予測		×
人的被害の予測	死者数の予測	
	負傷者数の予測	
	要救出者数の予測	×
生活支障の予測		×

表 1.4.3 本報告で参考とした自治体の地震被害想定調査資料

自治体名	調査実施状況 / 収集資料	自治体名	調査実施状況 / 収集資料
・北海道	1987 本編	和歌山県	1996 本編
・青森県	1997 本編	鳥取県	1992 本編
岩手県	1998 本編	・島根県	1997 概要版
・宮城県	1996 / 1997 本編	岡山県	1995 本編
・秋田県	1997 本編	・広島県	1997 本編
山形県	1998 本編	・山口県	1997 本編
・福島県	1998 本編	・徳島県	1997 本編
茨城県	1998 本編	・香川県	1997 概要版
・栃木県	1995 本編	・愛媛県	被害想定調査 実施中
群馬県	1998 本編	・高知県	1993 本編
・埼玉県	1998 本編	・福岡県	1997 本編
・千葉県	1996 地域防災計画	・佐賀県	1997 本編
・東京都	1991 本編	・長崎県	1998 概要版
・	1997 本編	熊本県	1997 本編
・神奈川県	1993 本編	・大分県	被害想定調査 実施せず
	1999 本編	・宮崎県	1997 本編
・新潟県	1998 本編	・鹿児島県	1997 概要版
・富山県	1998 本編	沖縄県	1997 本編
・石川県	1998 概要版	・札幌市	1997 本編
・福井県	1997 本編	・仙台市	1997 本編
・山梨県	1996 本編	・千葉市	1996 地域防災計画
・長野県	1987 本編	横浜市	1997 本編
岐阜県	1998 本編	・川崎市	1997 本編
・静岡県	1993 本編	名古屋市	1998 本編
・愛知県	1995 本編	・京都市	1997 概要版
・三重県	1997 本編	・大阪市	1996 概要版
滋賀県	1995 概要版	・神戸市	被害想定調査 実施せず
・京都府	1998 概要版	・広島市	1997 概要版
・大阪府	1997 本編	・北九州市	被害想定調査 実施せず
兵庫県	1999 本編	・福岡市	被害想定調査 実施せず
・奈良県	1997 概要版		
			2000年10月1日現在

本編：全ての調査項目について、被害予測結果と地震被害予測の詳細な考え方が記載されている報告書を収集した自治体。
 概要：主な調査項目について、被害予測結果と地震被害予測の概略的な考え方が記載されている報告書を収集した自治体。
 地域防災計画：地域防災計画を資料として収集した自治体。777

- ・：損害保険料率算定会（平成10年9月）が収集していた資料
- ：本調査において新たに収集した資料
- 網掛け：資料を収集していない自治体

- 北海道は、他の自治体が行っているような建物被害棟数など種々の被害量を予測するのではなく、想定地震に対する地域（市町村）の相対的な被災危険度を評価している。本報告の趣旨とは異なるため取りまどめの対象とはなっていない。
- 地域防災計画には、被害予測手法は記載されていなかったため、本報告の取りまどめの対象とはなっていない。
- 横浜市の報告書は、高密度強震計ネットワークと連動したリアルタイム地震防災システム（READY）を構築するための手法を検討したものであり、地震動の予測手法は観測網で観測された波形を十分に活かした手法となっている。本報告の趣旨とは異なるため取りまどめの対象とはなっていない。

(2)地震被害予測の基礎

(a)地震動予測の基礎

地震動予測においては、基盤における減衰過程と、表層における増幅過程の2つの過程に分けて予測する場合が多い。表層の増幅過程を2段階で想定する方法や、基盤・表層の過程を区分しないで一度に地表の地震動を予測する簡略的な方法もある。

基盤地震動予測の概要

基盤での地震動を求める方法は大きく2つに分類することができる。

- 断層の破壊過程を考慮したもの
- 震源断層からの距離やマグニチュード等にもとづくもの（「距離減衰式」）

a) は、震源断層を複数の小さな断片に分割し、断層の破壊の伝播を模式的に実現する考え方である。

これにより、震源断層からの距離が同じであっても、断層の破壊様式にしたがって地震動の大きさが異なるといった現象を説明できる。ただ、活動していない断層に対し破壊の進行方向を決める点において、不確定性がかなり大きいという問題点がある。

b) では、地震観測記録の統計回帰分析にもとづいて導かれる経験式を使用している。いわゆる「距離減衰式」である。この方法は適用が簡便であり、地震動の強さを推定する有効な手法として古くから多くの研究がなされている。

基本的に a) では、建物被害等を予測する場合に重要な地震の周期成分についての予測も行えるのに対し、b) では、それが行えず、周期成分が必要な場合には既存の地震波形から外挿するなどの処理が必要になる。また、a) は地震波形を合成する、より詳細な方法と建物などの被害を簡易的に求めるのに有効な応答スペクトルのみを求める方法がある。

表層地震動予測の概要

上記により基盤の地震動を予測した場合には、表層部の地盤モデルに対して、その地震動を入力し、表層地盤での地震動の増幅過程を応答計算する。地盤の応答計算の方法として、以下のものがあげられる

- a) 重複（多重）反射理論に基づく線形計算で評価したもの
- b) 重複反射理論と等価線形手法を合わせた手法で評価したもの
- c) やや深部は線形で、浅部は等価線形で重複反射理論により評価したもの

a) 線形重複反射理論は応答解析の最も基本的な方法であり、軟弱な地盤でゆれが増幅しやすい点をうまく再現し、入力地震動にかかわらず地盤の増幅特性が決められる。ただし、軟弱な地盤を大きな地震動が襲った場合、地盤中にひずみが蓄積し、硬質な地盤よりもゆれ（加速度）が小さくなることがある。線形重複反射理論では、このような特徴（非線形性）をとらえることができない。非線形的な振る舞いを評価する方法として、b) 等価線形手法が開発された。c) は両者を組み合わせ、表層部を2段階で予測する方法である。

このほか、微地形分類から統計的に求めた増幅率を採用して地表の揺れを求める方法や、上記の過程を計算せずに、想定地震のマグニチュードと断層面からの距離、簡単な地盤分類などによって地表面での地震動を予測する手法も存在する。

各手法の分類別特徴

断層の破壊過程を考慮して基盤の地震波形を求め、さらに表層地盤の地震動を2段階に分けて地震動を予測する方法は、かなり詳細な計算結果が求められる。ただし、それは、設定した値と同じ地震が発生した場合にのみ、確からしい結果になるという「特定解」である。すなわち、断層の破壊開始位置、破壊の伝播方向、伝播速度などについて設定した条件と同じ地震の場合についてのみ適合するものである。実際に今後起こる地震について、破壊開始位置がどこでどのように破壊が進行していくのかは予測できないものである。したがって、一般的な危険性のある場所を明らかにする「一般解」ではない。

分類した各手法の特徴等について簡単にまとめた一覧表を表 1.4.4. に、各都道府県及び政令指定都市が最近の被害予測において採用している手法を表 1.4.5 に、各手法において必要となる入力パラメータ等については表 1.4.6 に示す。

断層の破壊過程を考慮した基盤地震動予測手法の概要

いくつかの予測手法があるが、この中で、多く使われている「翠川・小林の方法」(翠川・小林 (1979,1980), Kobayashi and Midorikawa, 1982) を例に説明する。

表 1.4.4 地震動予測手法の分類別特徴一覧表

方法		特徴 1	特徴 2	次の過程		
基盤地震動予測	断層の破壊過程	基盤の地震波形が求まる方法	建物の動的な振動応答解析を行うのに必要な地震波形(時刻歴波形)が求められる。応答スペクトルも加速度も求めることができる。	複雑なパラメーターを設定する必要がある。特定解が求められる。	表層増幅過程で地震波形を出力 さまざまな建物被害予測手法が使用できる。	より詳細な予測手法 ↑
		基盤の応答スペクトルが求まる方法	建物振動特性を考慮した簡易な被害予測を行うのに必要な応答スペクトルが求められる。	特定解が求められる。	表層増幅過程で応答スペクトルを出力 静的な建物被害予測	
	距離減衰式	基盤の応答スペクトルが求まる方法	建物振動特性を考慮した簡易な被害予測を行うのに必要な応答スペクトルが求められる。	一般解が求められる。	表層増幅過程で応答スペクトルを出力 静的な建物被害予測	より簡易的な予測手法 ↓
		基盤の加速度が求まる方法	このままでは建物の振動特性を考慮した被害予測へはリンクできない。既存の地震波形を求められた加速度の大きさで振幅調整し、基盤波形とするなどの処理が必要。	一般解が求められる。	既存の地震波形を外挿 表層増幅過程で地震波形を出力 さまざまな建物被害予測手法が使用できる。	

手法		入出力	特徴 1	特徴 2		
表層地震動予測	表層増幅過程の予測	重複反射理論に基づく線形計算	基盤地震動予測結果を入力、入力に応じて地震波形もしくは応答スペクトルを出力	地盤応答解析手法。詳細な地盤諸特性のパラメーターが必要	強震時の軟弱地盤の非線形性が考慮されず、軟弱地盤でかなり大きい揺れが予測される。	
		重複反射理論と等価線形手法を合わせた手法				強震時の軟弱地盤の非線形性が考慮され、強震時に軟弱地盤の加速度は比較的小さくなる。
		やや深部は線形で、浅部は等価線形の重複反射理論				
	微地形分類による統計的な増幅率を掛ける手法	基盤の最大加速度等を入力し、地表の最大加速度等を入力	微地形分類が必要	簡易的。周期特性を考慮した建物被害予測は実施できない。		
直接地表の値を算出	距離減衰式	震源(断層)からの距離を入力、地表最大加速度(または速度)を出力	簡単な地盤分類のみ必要			

表 1.4.5 地震動予測手法分類別採用自治体一覧表

		表層増幅過程の予測				
		重複反射(線形)	重複反射・等価線形(非線形)	深部：線形、浅部：非線形	微地形分類による統計的手法	
基盤地震動予測	断層破壊過程を考慮	地震波形出力	広島市	青森県, 岐阜県, 大阪府, 広島県, 山口県, 徳島県, 札幌市, 大阪市	神奈川県 93	
		応答スペクトル出力	茨城県	福井県	秋田県, 宮城県, 埼玉県, 新潟県, 愛知県, 福岡県, 宮崎県, 仙台市, 川崎市, 名古屋市	岩手県, 岡山県
	距離減衰式	応答スペクトル出力		札幌市, 京都市		
		加速度等出力		福島県, 群馬県, 東京都 91, 静岡県, 長野県, 富山県, 三重県, 京都府, 和歌山県, 沖縄県, 京都市		山形県, 神奈川県 99
直接地表の値(加速度または速度)を算出						
東京都 97, 佐賀県, 滋賀県						

各都道府県・政令指定都市でほぼ最新の手法についてまとめた(1999年度時点)。全ての都道府県・政令指定都市をまとめているわけではない。

表 1.4.6 各手法の入力すべきパラメータ等

手法分類	入力パラメータ等
基盤地震動予測 断層破壊過程を考慮	想定震源断層の分割数 破壊伝播速度 破壊形式、破壊の開始点位置 震源域から観測点までの地震波伝播速度 断層面の位置・形状 地震の規模（マグニチュード、地震モーメント等） 観測点（予測する範囲）の位置 小地震の観測記録 波形の立ち上がり時間（最大地震動発生遅れ時間） 位相スペクトル 地震動継続時間
	距離減衰式 断層面の位置・形状あるいは震源位置 震源の深さ 地震の規模（マグニチュード、地震モーメント等） 観測点（予測する範囲）の位置
表層増幅過程予測 重複反射（線形）	入力地震波形（既存観測波形もしくは基盤地震動予測結果） 地層ごとの深さ、地震波伝播速度、剛性率、密度、層厚
	等価線形手法（非線形） 入力地震波形（既存観測波形もしくは基盤地震動予測結果） 地層ごとの深さ、地震波伝播速度、剛性率、密度、層厚、土質分類 土質ごとのせん断弾性定数及び減衰定数のひずみ依存曲線
	微地形分類による統計的手法 地形・地質・微地形分類 標高分布 主要河川からの距離の分布 入力加速度・速度（基盤地震動予測結果など）
直接地表の値を算出 基盤等を考慮せず、表層地盤分類ごとの距離減衰式による方法	地盤分類 断層面の位置・形状あるいは震源位置 震源の深さ 地震の規模（マグニチュード、地震モーメント等） 観測点（予測する範囲）の位置

：ほとんどの場合必要とする。

：手法によっては必要とする場合がある。

この方法は、震源断層の広がりや断層の破壊方向を考慮するために、震源断層を小領域に分割して、断層の破壊の進行にともない、おのおの小領域から地震波が観測点へやって来るものとして時間差を考慮して重ね合せ、基盤での地震動を求める方法である（図 1.4.3）。

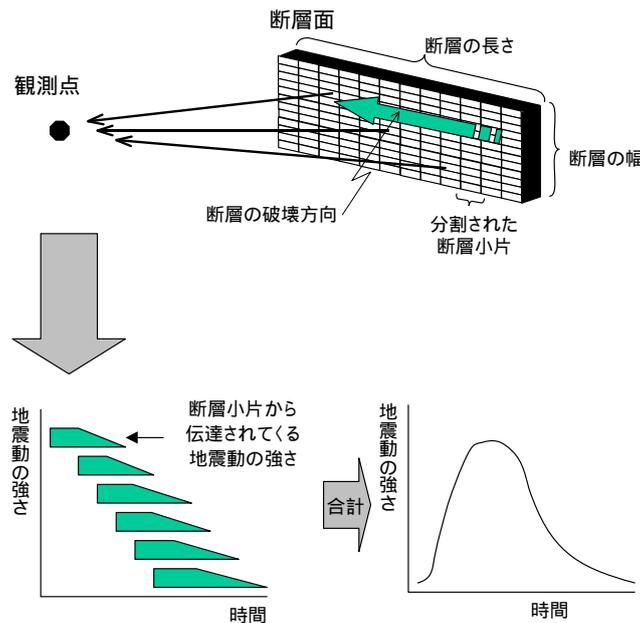


図 1.4.3 「翠川・小林の方法」による地震動計算の概念図

「翠川・小林の方法」以外の手法では、断層小片から発せられる地震動を応答スペクトルではなく、観測された小地震の波形にしたり、あるいは経験的にもとめた模擬波形にしたりする工夫がなされている。それぞれ手法によって、どのような地震動が断層小片から発せられるかが大きく異なっている。

距離減衰式の概要

過去の地震における、地震の規模、震源域からの距離と地震動の大きさの関係を統計的に求めたものである。様々な距離減衰式が提案されており、震源域からの距離に関して、「震源距離」、「震央距離」、「断層からの最短距離」などを使用している例が見られる。

重複反射理論による表層増幅計算の概要

線形重複反射理論は応答解析の最も基本的な方法であり、1950～1960年代初頭に確立された（例えば Haskell, 1960）方法である。軟弱な地盤でゆれが増幅しやすい点をうまく再現し、入力地震動にかかわらず地盤の増幅特性が決められる。

等価線形手法（非線形）による表層増幅計算の概要

SHAKE（Schnabel ほか, 1972）と呼ばれる手法に代表されるこの手法は、地盤のひずみによる減衰の効果をとり入れた非線形解析手法であり、重複反射理論に似せた線形解析手法よりも、実際の現象をうまく表している。一般に、土はせん断ひずみが増大するとせん断弾性定数は減少し、減衰定数は増大する。等価線形応答計算では、この特徴を重複反射計算の中に取り入れたものである。

この手法では、せん断弾性定数および減衰定数のひずみ依存曲線の取り方や、収束判定の方法に、手法によって違いがある。例えば、FDEL（杉戸ら, 1994）などでは、周波数帯ごとにひずみの減衰定数・剛性率依存特性を収束計算するという方法を採用しており、より現実の現象を表そうと試みている。

微地形分類による統計的手法

松岡・翠川（1994）、Midorikawa *et al.*（1994）による方法であり、1987年千葉県東方沖地震の強震記録から、最大加速度振幅に対する地盤の増幅度 ARA および最大速度振幅に対する地盤の増幅度 ARV を、地形・地質条件ごとに求められる式を構築している。

(b)建物被害予測の基礎

建物の被害予測手法は、個別の建物について実態調査を行うものもあるが、本稿ではメッシュもしくは町丁字などといったある区域ごとに建物数の集計がなされたデータに対して、被害数を確率的に算出する手法を取り扱うこととする。したがって、各手法の実施には、メッシュあるいは町丁字などといったある区域ごとのデータを作成していることが必要となる。

建物は、構造によって、振動特性・耐震性の特徴が大きく異なるため、主体構造別に区分して被害予測を行うことが、ほとんどである（表 1.4.7）。主体構造は、大きく、木造と非木造建物に区分される。非木造建物はさらに RC 造、SRC 造、S 造、LGS 造、その他などに分類される（それぞれ、鉄筋コンクリート造、鉄骨鉄筋コンクリート造、鉄骨造、軽量鉄骨造、その他）。

なお、建物の被害予測結果は、全壊・半壊、大破・中破などの被害程度別に表される。この被害程度は、自治体が災害救助を行うために判定する指標と、建築学的に構造上の被害程度から判定する指標等があり、混同しないよう注意が必要である。

また、これらの指標はかなりあいまいなものとなっている。関東地震時の被害実態をもとにした被害予測手法では、自治体による全壊・半壊の指標による被害判定がもとになっており、導き出される被害量はその指標に沿ったものであると理解すべきである。阪神・淡路大震災では、複数の機関が、それぞれの指標によって被害調査をしており、いずれの指標に基づいた被害量をもとに被害予測手法が構築されているのかを把握しておく必要がある。多くの場合、自治体が判定している被害量の方が、

建築学的に構造上の被害を判定したものよりも大きくなる傾向がある。

表 1.4.7 主体構造の分類状況

構造区分	木造 (他は非考慮)	木造 非木造	木造 R C 造 S 造 (他は非考慮)	木造 RC・SRC 造 S 造 (他は非考慮)	木造 RC・SRC 造 S 造 LGS 造 (他は非考慮)	木造 RC・SRC 造 S 造 LGS 造 その他
	採用自治体	長野県, 高知県 栃木県, 三重県, 福島県, 神奈川県, 99, 兵庫県, 山口県, 奈良県	東京都 97, 佐賀県, 青森県, 岡山県	山梨県, 徳島県, 和歌山県, 札幌市, 岩手県, 宮城県, 秋田県, 群馬県, 埼玉県 (*), 富山県, 青森県	名古屋市, 東京都 91, 福井県, 沖縄県, 長崎県, 山形県, 大阪府, 京都市	滋賀県, 茨城県, 神奈川県 93, 新潟県, 岐阜県, 広島県, 福岡県, 宮崎県, 仙台市, 川崎市, 静岡県, 鹿児島県

各都道府県・政令指定都市でほぼ最新の手法についてまとめた(1999年度時点)。

全ての都道府県・政令指定都市をまとめているわけではない。

入手した報告書から読みとれる範囲によって区分している。そのため、実際の計算が上記の整理とは異なる区分で行われていたこともあり得る。

(*)埼玉県は、LGS はSの中から除外し、対象外としている。

建物被害の予測は、過去の地震被害の経験にもとづく予測や、建物応答解析にもとづく予測に大別されるが、ここでは前者の過去の地震被害の経験にもとづく予測について記述する。

この方法は、過去の地震被害をもとに加速度等の揺れの大きさと建物の被害量との関係を統計的に導いた経験式を用いるものである。各手法によって被害の予測結果が大きく異なるが、これは、経験式を作成したときのサンプル採用範囲の違い、サンプルの被害の判定基準(全壊・半壊等の認知の程度)の違い、加速度等の分布をどのように得ているのかの違いによるものと考えられる。

この手法は、被害を求める地域の揺れの大きさがわかれば被害率が即座に求められるという点に利点がある。また、この手法を採用する場合には、被害予測を行う範囲と似通った都市構造・地盤条件の被災データをもとにした被害予測式を採用すべきである。

(c)出火予測の基礎

出火予測は、出火原因別に行われる。ここで、出火原因はおよそ次のように分類できる。

表 1.4.8 出火原因の分類

一般火気器具	化学薬品	危険物	L P ガスボンベ
都市ガス配管	高压ガス施設	工業炉	電気設備
火薬・爆発物	交通機関	その他	

このうち、過去の地震火災においては、一般火気器具からの出火が圧倒的に多く、化学薬品からの出火がそれに次ぐ。それ以外からの出火はほとんど見られない(表 1.4.9)。都市の火災による被害量を知りたいのであれば、一般火気器具と化学薬品からの出火件数さえ求めれば多くの場合は十分といえる。他の要因による出火事例はきわめて少なく、予測してもその信頼性は低い。

特に、危険物施設からの出火は、予測している自治体は多いが、過去の地震時出火事例が少ないために信頼性が高いとは言えない。また、消防法に基づき届けられている危険物施設を対象として出火を予測する手法となっているが、消防法に基づき登録されている危険物施設は、正しい危険物の管理が行われており、むしろ登録されていないものの方が、出火の危険性が高い。少量危険物施設などが

らの出火をよく見込んでおく必要があるが、これらの施設分布を把握することは困難である。
各自治体が行っている出火予測における出火原因をまとめると表 1.4.10 のようになる。

表 1.4.9 過去の主な地震の出火原因

発生年月日	地震名	原因
1923. 9. 1	関東地震	薬品(44),かまど(33),こんろ(15),ガス(9),油鍋(5),漏電(1),倒壊・その他(56)
1948. 6.28	福井地震	かまど(8),薬品(5),工業炉(4),家庭炉(3),七輪(2),飛火(2),風呂(1),マッチ(1),不明(3)
1964. 6.16	新潟地震	原油(4),薬品(2),プロパンボンベ(1),油鍋(1),風呂(1)
1968. 5.16	十勝沖地震	石油ストーブ(20),石炭ストーブ(8),石油こんろ(8),薬品(4),電気関係(3),7° 01' 5" N(2), 練炭こんろ(1),重油バーナー(1),不明(3)
1978. 6.12	宮城県沖地震	薬品(3),漏油(3),電気関係(1),再燃(1),マッチ(1),可燃物落下(1),ガスタンク(1),煙突(1)
1993. 1.15	釧路沖地震	石油ストーブ(3),電気ストーブ(2),倒壊・その他(2),石炭ストーブ(1),ガスストーブ(1),薬 品(1),不明(1)
1994.12.28	三陸はるか沖地 震	電気関係(1),テレビ(1),水槽用ヒーター(1),屋内配線(1),ガスストーブ(1),ガス配管(1),石油スト ーブ(1),乾燥機(1),かまど(1)
1995. 1.17	兵庫県南部地震	電気関係(85),ガス関係(13),火種関係(12),石油関係(6),灯火(5),その他(18),不明(146)

()内は出火件数。平成10年7月23日 消防庁震災対策指導室

表 1.4.10 出火原因別出火予測採用自治体一覧表

出火原因		採用自治体
一般火気器具	経験的手法	青森県, 岩手県, 宮城県, 秋田県, 山形県, 福島県, 栃木県, 群馬県, 神奈川県 99, 新潟県, 富山県, 福井県, 山梨県, 長野県, 静岡県, 愛知県, 岐阜県, 滋賀県, 三重県, 京都府, 奈良県, 和歌山県, 大阪府, 兵庫県, 島根県, 岡山県, 広島県, 山口県, 徳島県, 高知県, 福岡県, 佐賀県, 長崎県, 熊本県, 宮崎県, 鹿児島県, 沖縄県, 札幌市, 仙台市, 名古屋市, 京都市, 大阪市, 広島市
	解析的手法	茨城県, 埼玉県, 東京都 91, 東京都 97, 神奈川県 93, 川崎市
危険物施設		青森県, 岩手県, 秋田県, 山形県, 茨城県, 群馬県, 東京都 91, 東京都 97, 神奈川県 93, 新潟県, 福井県, 和歌山県, 大阪府, 広島県, 宮崎県, 仙台市, 川崎市
高圧ガス(LP ガス施設を含む)		山形県, 東京都 91, 東京都 97, 長野県
化学薬品		秋田県, 茨城県, 群馬県, 埼玉県, 東京都 91, 東京都 97, 神奈川県 93, 新潟県, 福井県, 川崎市
工業炉		東京都 91, 東京都 97
LP ガスボンベ		青森県, 茨城県, 東京都 91, 東京都 97, 神奈川県 93

各都道府県・政令指定都市でほぼ最新的手法についてまとめた(1999年度時点)。全ての都道府県・政令指定都市をまとめているわけではない。

出火の確率は、季節、時刻によって大きく変化するため、想定条件を決めておく必要がある。また、時代とともに使用火気、家財の燃焼性、薬品、消火設備や意識などが変化しており、出火の危険性が変化している。時代による出火危険性の変化を的確に考慮する必要もあろう。そのほか、止火率、初期消火率について、地域性あるいは震度との関係を考慮して、外挿している例がいくつか見られる。

出火予測手法は、いずれも、どの建物から出火するということを特定するものではなく、多くの対象物がある地域に対して出火する確率がどれだけあるのかを算定するものである。メッシュ単位などで予測される出火件数はきわめて小さな値となる。したがって、市町村全体での出火件数が提示され、危険性の分布についてメッシュ等の細かい分布図が示されるべきところである。

しかし、延焼動態予測へ発展させる場合などは出火点の位置を設定しなければならない。ここまでの「個別の被害を求めるものではない」という被害予測の流れとは異なってくる。延焼動態予測結果についての公表時には、あくまでも一例であるということを強調しておく必要がある。出火点の配分は、出火率の高い場所に確率的に配置して行くなどの手法をとって、出火点の位置を設定していくこ

とが必要となるが、高いところから順番に配置していけばよいものではなく、平面的な危険度の分布の広がりを考慮しながら配置していくことが必要となる。また、この際に、求められた出火件数がどのようなものであるのかを注意する必要がある。

火災は、およそ図 1.4.4 に示すような過程で発展または消滅する。求められた出火が全出火であるのか、炎上出火であるのか、また、延焼する可能性があるのか否かをよく検討してから、消防力の運用、延焼の予測等へ移行しなければならない。

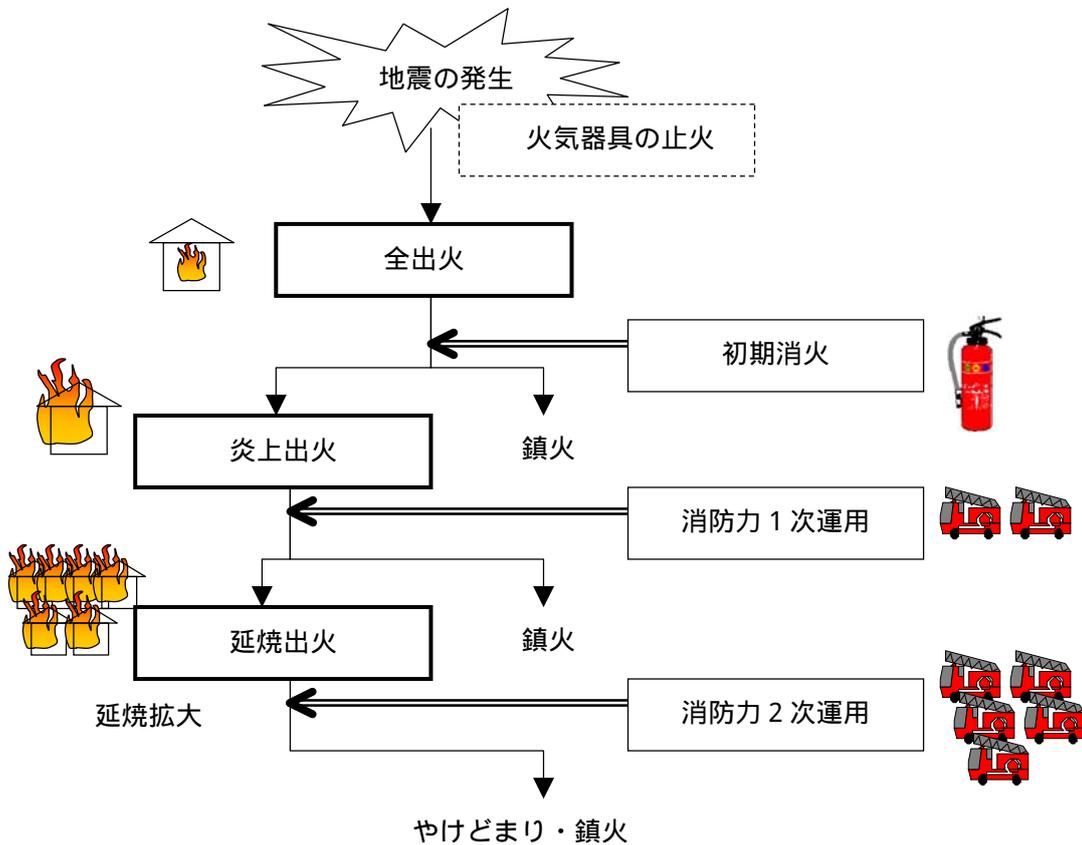


図 1.4.4 一般的な地震火災の展開

「出火」の分類としては、「全出火」「炎上出火（炎上火災）」「延焼出火」をあげることが出来る。神奈川県（1986）では、これらを表 1.4.11 のように定義している。

表 1.4.11 出火の概念（神奈川県，1986）

分類	概念
全出火	・地震時に発生する全ての出火。
炎上出火	・家人、隣人、自主防災組織等による初期消火活動で消火できずに木造建物の 1 棟程度に拡大するものを意味する。
延焼出火	・「炎上出火」のうち消防隊等による消火活動によって消火されずに市街地火災へと拡大するものを意味する。 ・危険物・高圧ガス施設からの出火のうち施設外へ延焼したものを。

以下に、一般火気器具からの出火予測手法についての概要を記述する。

一般火気器具からの出火件数の予測方法は、「震度または建物被害と出火率の関係にもとづく経験

的手法」と「イベントツリーによる解析的手法」に大分される。両手法の特徴は、表 1.4.12 に示すとおりである。

表 1.4.12 出火予測手法分類ごとの特徴

項目 \ 手法	経験的手法	解析的手法
入力する外力	全壊率または震度	建物内階数別応答加速度
入力すべきデータ	季節、時刻、構造別建物分布	季節、時刻、用途・階数・構造別建物分布（感震自動消火装置・ガスマイコンメータの普及率、止火率、初期消火率、火気器具使用状況）
特徴	簡易的な経験式であり、汎用性が高い。地域の実態に基づいたものではなく、地域性の反映はできない。火気器具の使用実態の変化に伴う出火率の変化にうまく対応できていない。	解析的手法である。地域の実態を考慮することができるが、難しい。火気器具使用状況実態調査を行えば、地域性、火気器具の使用実態に従った出火件数が求められる。
出力結果	炎上出火（全出火が求められるものもある）	炎上出火

震度または建物被害の全壊棟数等と出火率の関係にもとづく経験的手法

この手法は、関東地震の建物被害分布と出火率分布の相関が高かったことから昭和 40 年代に河角氏により研究が始められた。ここに分類される手法の多くは、建物全壊率と出火率に関する経験式を利用しており、地震動の揺れの大きさを建物の全壊率で代表させて、出火率との関係を導く方法である。壊れた建物から出火することを意味するものではない。建物の被害予測において、全壊率が求められていることが前提となる。

出火率は、揺れが小さいときにはゼロであるが、ある程度、揺れが大きくなると指数関数的に上昇する。すなわち、揺れの大きさと出火率は一次式の関係ではない。このため、この手法に分類されるものの多くは、計算単位の大きさによって、求まる結果が変わる。基本的には、市町村単位の統計によって導出された経験式であり、市町村単位の計算することが望ましい。より細かい単位の出火件数等を予測する必要がある場合には、それらの合計が市町村単位の予測結果の数値にあうように補正する。

イベントツリーによる解析的手法

イベントツリー解析による出火予測手法は、東京消防庁で検討されてきたものである（1987年に火災予防審議会答申として出されている）。

イベントツリー解析とは、ある事象が起こった場合に、次にどのような事象が起こる可能性があるのかといったことを、次々と連携させた樹形図（イベントツリー）を作成し、それぞれの事象がどのような確率で起こるかを設定し、最終的に大もとの事象が起こった場合に、最終的に求めたい事象が発生する確率を求める手法である。

この手法は、出火要因となる火気器具ごとの加速度と出火率の関係をイベントツリー解析し、これに、季節・時間帯別の火気器具ごとの使用状況、各用途別の建物における火気器具の保有状況を加味して、建物用途ごとに季節・時間帯別の建物内の加速度と出火率の関係を求めているものである。

東京消防庁（1987）においては、一般火気器具からの出火のほか、危険物施設、化学薬品、工業炉、LPガスボンベからの出火についての加速度と出火率の関係を解析している。さらに、1995年阪神・淡路大震災の実績を加え、1997年に改訂している。

ただし、この手法は、階数ごとに異なる建物内の加速度を求めることが前提となる。建物被害予測

の段階で解析計算するかあるいはなんらかの換算式によって建物内の加速度を求める必要があり、労力が大となる。また、火気器具の使用状況は、実態調査された結果を用いるため、他地域ではそのまま利用できないことが考えられる。さらに、利用する場合においても、参考とする事例での季節や時間帯などの設定条件に縛られてしまうために、自由度が高いとは言い難い。

(d)人的被害予測の基礎

人的被害の予測に関しては、死者、負傷者の予測のほか、避難者、罹災者、要救出者、帰宅困難者などさまざまな人的被害量を予測している例が見られる。ここでは、各自治体で一般的に予測している死者及び負傷者についての予測手法について概説する。

過去の震災では、建物やブロック塀の倒壊・火災・崖崩れ・高架橋の落下等のさまざまな要因により、死傷者が発生している。原因別の死傷者数を予測して積み上げる方法もあるが、ほとんどの自治体では、建物被害あるいは火災による被害を説明変数として死傷者数を予測する手法をとっている。これは、建物被害、火災を原因として限定して死傷者数を求める方法と、多様な原因による死傷者数を建物被害及び火災による被害量に代表させて求める方法がある。

負傷者数の予測に関しては死者数の予測結果から、過去の地震における死者数と負傷者数の関係から求める方法も多く採用されている。

いずれも人的被害の予測手法は、過去の地震被害もしくは平常時の事故等のデータから経験式を導いたものである。

時間帯によって、建物内にいる人の分布が変化するため、地震発生の時間帯によって人的被害が変化する。また、それは都市域であるか否かといった地域的特性も影響してくる。しかし、先述のように人的被害予測式はいずれも経験式であり、様々な発生時間での経験値は豊富ではない。そのため、地震発生時間帯の効果を考慮している方法は少ない。また、時間帯を考慮するのであれば、それに見合うだけの細かい原因別の予測手法を確立しなければならないのと同時に、時間帯毎の人口分布の変化も正確に捉える必要が生ずる。

また、建物被害において、被害程度別の被害量を予測していたように、負傷者にも、「重傷者」、「軽傷者」といった負傷程度別に人的被害量を予測している自治体が多い。その定義についてよく認識しておく必要がある。

表 1.4.13 各死傷者予測手法分類別採用自治体一覧表

各自治体における揺れ、建物被害、火災等をもとにした死傷者数予測のまとめ				
主な入力パラメーター	死者に関する予測		負傷者に関する予測	
	建物被害・火災等による全体の死者数を建物被害量等から予測している自治体	建物被害による死者数と火災による死者数を別々に予測している自治体	建物被害・火災等による全体の負傷者数を予測している自治体	建物被害による負傷者数と火災による負傷者数を別々に予測している自治体
建物被害・火災	青森県, 岩手県, 宮城県, 秋田県, 栃木県, 群馬県, 新潟県, 福井県, 長野県, 和歌山県, 鳥取県, 岡山県, 広島県, 山口県, 徳島県, 高知県, 宮崎県, 沖縄県, 札幌市, 仙台市, 川崎市, 大阪市, 広島市	山形県, (福島県), 茨城県, 東京都 91, 東京都 97, 山梨県, 富山県, (岐阜県), 静岡県, 愛知県, (三重県), (滋賀県), 大阪府, 兵庫県, (福岡県), 佐賀県, (名古屋市), 京都市	宮城県, 秋田県, 栃木県, 群馬県, 新潟県, 長野県, 三重県, 広島県, 山口県, 徳島県, 高知県, 福岡県, 宮崎県, 沖縄県, 仙台市, 名古屋市, 広島市	東京都 91(火災による), 東京都 97, 山梨県, 富山県(揺れによる), 静岡県, 愛知県, 大阪府(揺れによる), 兵庫県(揺れによる), 佐賀県, 札幌市, (京都市)
震度・加速度		(神奈川県 93), 神奈川県 99	福島県	(神奈川県 93), 神奈川県 99, 東京都 91(揺れによる)
死者数			青森県, 岩手県, 山形県, 茨城県, 福井県, 滋賀県, 和歌山県, 鳥取県, 岡山県, 川崎市, 大阪市	富山県(火災による), 大阪府(火災による), 兵庫県(火災による)
建物被害・火災以外の原因を加えて死傷者数を予測している自治体				
原因	斜面災害	交通被害	ブロック塀等の転倒	津波
採用自治体	東京都 91, 東京都 97, 神奈川県 93, 神奈川県 99, 山梨県, 静岡県, 大阪府, 高知県, 福岡県	埼玉県, 東京都 97, 神奈川県 99, 静岡県, 大阪府, 兵庫県	埼玉県, 東京都 91, 東京都 97, 富山県, 静岡県, 大阪府, 兵庫県	青森県, 神奈川県 99, 新潟県, 静岡県, 三重県, 高知県, 宮崎県, 沖縄県

各都道府県・政令指定都市でほぼ最新の手法についてまとめた(1999年度時点)。全ての都道府県・政令指定都市をまとめているわけではない。自治体名を()で囲んだものは、建物被害による死傷者数と火災による死傷者数を分けて予測する手法を採用しながら、火災による死傷者数を少ないものと見なすなどして予測していない自治体。

表 1.4.14 負傷程度の分類(塩野・小坂, 1989 に加筆)

判定基準	重症(重傷)	中等症	軽症(軽傷)
自治省消防庁 「救急事故等報告要領」	3週間以上の入院が必要	3週間以内の入院が必要	入院を必要としない
内閣官房審議室(1968) 「被害認定統一基準」	当該災害により負傷し、医師の治療を受け、又は受ける必要のある者のうち1ヶ月以上の治療を要する見込みのもの。	-	当該災害により負傷し、医師の治療を受け、又は受ける必要のある者のうち1ヶ月未満で治療できる見込みのもの。
北海道庁 「被害状況判定基準」 1972年根室沖地震	1ヶ月以上の医師の治療が必要	-	1ヶ月未満の医師の治療が必要
仙台医師会 1978年宮城県沖地震	入院が必要	入院を必要としない全治8日以上	全治7日以内
能代市山本郡医師会 1983年日本海中部地震	入院が必要	創傷処理が必要だが、帰宅可能	重症・中等症以外

【参考文献】

- 1) 北海道(1987)北海道における地震災害の地域特性に関する調査研究, 昭和62年3月.
- 2) 青森県(1996)平成7年度青森県地震・津波被害想定調査 概要書, 平成8年3月.
- 3) 青森県(1997)平成8年度青森県地震・津波被害想定調査 報告書, 平成9年3月.
- 4) 岩手県(1998)岩手県地震被害想定調査に関する報告書, 平成10年3月.
- 5) 宮城県(1996)平成7年度宮城県地震被害想定調査業務 報告書, 平成8年3月.
- 6) 宮城県(1997)平成8年度宮城県地震被害想定調査業務 報告書, 平成9年3月.
- 7) 宮城県防災会議地震対策専門部会(1997)宮城県地震被害想定調査業務に関する報告書 概要版, 平成9年3月.
- 8) 秋田県(1997)秋田県地震被害想定調査報告書, 平成9年3月.
- 9) 山形県文化環境部(1998)山形県地震対策基礎調査 調査報告書, 平成10年3月.
- 10) 福島県(1998)福島県地震・津波被害想定調査 - 概要版 -, 平成10年3月.
- 11) 福島県(1998)平成9年度 福島県地震・津波被害想定調査報告書, 株式会社 野村総合研究所, 平成10年3月.
- 12) 福島県(1997)平成8年度 福島県地震・津波被害想定調査報告書, 株式会社 野村総合研究所, 平成9年3月.
- 13) 茨城県生活環境部消防防災課(1998)平成9年度茨城県地震被害想定調査報告書, 平成10年3月.
- 14) 栃木県(1995)栃木県直下の地震被害想定調査報告書, 平成7年10月.
- 15) 群馬県総務部消防防災課(1998)群馬県地震被害想定調査報告書, 平成10年3月.
- 16) 埼玉県(1998)埼玉県地震被害想定調査 報告書, 平成10年3月.
- 17) 千葉県(1996)千葉県地域防災計画震災編 平成8年度修正.
- 18) 東京都防災会議(1991)東京における地震被害の想定に関する調査研究, 平成3年9月.
- 19) 東京都防災会議(1991)東京における地震被害の想定に関する調査研究(手法・提言編), 平成3年9月.
- 20) 東京都(1997)東京における直下地震の被害想定に関する調査報告書, 平成9年8月.
- 21) 東京都(1997)東京における直下地震の被害想定に関する調査報告書(被害想定手法編), 平成9年8月.
- 22) 神奈川県(1993)神奈川県西部地震被害想定調査報告書, 平成5年3月.
- 23) 神奈川県(1993)神奈川県西部地震被害想定調査 - 手法編報告書 -, 平成5年3月.
- 24) 神奈川県地震被害想定調査委員会(1999)神奈川県地震被害想定調査報告書概要編, 平成11年3月.
- 25) 神奈川県地震被害想定調査委員会(1999)神奈川県地震被害想定調査報告書, 平成11年3月.
- 26) 新潟県(1998)新潟県地震被害想定調査報告書, 平成10年3月.
- 27) 新潟県(1998)新潟県地震被害想定調査報告書(縮刷版), 平成10年3月.
- 28) 富山県(1996)地震調査報告書, 平成8年3月.
- 29) 富山県(1998)地震調査報告書, 平成10年3月.
- 30) 石川県(1998)石川県地震被害想定調査報告書【概要版】, 平成10年3月.
- 31) 福井県(1997)福井県地震被害予測調査報告書, 平成9年3月.
- 32) 山梨県(1996)山梨県地震被害想定調査報告書, 株式会社 三菱総合研究所, 平成8年3月.
- 33) 長野県(1986)長野県地震対策基礎調査報告書, 昭和61年3月.
- 34) 長野県(1987)長野県地震対策基礎調査報告書 - 被害想定編 -, 昭和62年3月.
- 35) 岐阜県(1998)岐阜県地震被害想定調査報告書, 平成10年3月.
- 36) 静岡県(1992)平成3年度静岡県委託調査 第2次地震被害想定調査報告書(ライフライン施設被害の想定), 株式会社 三菱総合研究所, 平成4年3月.
- 37) 静岡県(1993)第2次地震被害想定結果報告書(案)(人的・物的被害編), 平成5年6月.
- 38) 愛知県(1993)愛知県東海地震被害予測調査 地震動・液状化・崖崩れ等ワーキンググループ報告書, 株式会社 三菱総合研究所, 平成5年3月.
- 39) 愛知県防災会議地震部会(1995)愛知県東海地震被害予測調査全体報告書, 平成7年3月.
- 40) 三重県(1997)三重県地域防災計画被害想定調査報告書, 平成9年3月.
- 41) 三重県(1997)三重県地域防災計画被害想定調査報告書 手法編, 平成9年3月.
- 42) 滋賀県(1995)滋賀県域における直下型地震の被害想定調査 報告書, 平成7年12月.
- 43) 滋賀県生活環境部消防防災課地震対策室(1996)滋賀県域における直下型地震の被害想定 報告書, 平成8年3月.

- 44) 京都府 (1998) 京都府地震被害想定調査報告書, 平成 10 年 3 月.
- 45) 大阪府 (1997) 大阪府地震被害想定調査報告書, 平成 9 年 3 月.
- 46) 奈良県 (1997) 奈良県地震被害想定調査 - 概要版 -, 平成 9 年 3 月.
- 47) 兵庫県 (1999) 兵庫県地震被害想定調査報告書, 平成 11 年 3 月.
- 48) 和歌山県 (1996) 和歌山県地震被害予測及び復旧戦略システム等委託業務報告書, 国際航業株式会社, 平成 8 年 3 月.
- 49) 鳥取県 (1992) 鳥取県地域防災計画「震災対策編」地震被害想定策定調査報告書, 財団法人 消防科学総合センター, 平成 4 年 3 月.
- 50) 鳥取県防災会議 (1997) 鳥取県地域防災計画 (震災対策編) (平成 9 年度修正).
- 51) 島根県 (1997) 島根県地震被害想定調査報告書 (概要版), 平成 9 年 3 月.
- 52) 岡山県防災会議 (1996) 岡山県地域防災計画 (震災対策編), 平成 8 年 5 月.
- 53) 岡山県地域振興部 (1995) 岡山県地震被害想定概要調査業務委託報告書, 平成 7 年 12 月.
- 54) 広島県 (1996) 広島県地震被害想定調査報告書 (平成 7・8 年度調査).
- 55) 山口県防災会議震災対策専門部会 (1997) 被害想定報告書.
- 56) 徳島県 (1997) 徳島県地震防災アセスメント調査結果の概要.
- 57) 徳島県地震防災アセスメント調査委員会 (1997) 徳島県地震防災アセスメント報告書, 平成 9 年 3 月.
- 58) 香川県 (1997) 香川県地震被害想定調査の概要, 平成 9 年 3 月.
- 59) 高知県 (1993) 高知県地震対策基礎調査報告書, 平成 5 年 3 月.
- 60) 福岡県 (1997) 地震に関する防災アセスメント調査報告書, 平成 9 年 12 月.
- 61) 佐賀県防災会議 (1997) 佐賀県地域防災計画 第 3 編 震災対策, 平成 9 年度.
- 62) 佐賀大学低平地防災研究センター (1997) 震災等被害シミュレーション調査 調査報告書, 平成 9 年 3 月.
- 63) 長崎県 (1998) 長崎県地震等防災アセスメント調査報告書, 平成 10 年 3 月.
- 64) 熊本県 (1997) 熊本県地震対策指針, 平成 9 年 3 月.
- 65) 宮崎県 (1997) 宮崎県地震被害想定調査報告書, 平成 9 年 3 月.
- 66) 鹿児島県 (1997) 鹿児島県地震被害予測調査報告書, 平成 9 年 3 月.
- 67) 沖縄県 (1997) 沖縄県地震被害想定調査概要報告書, 平成 9 年 3 月.
- 68) 沖縄県 (1997) 沖縄県地震被害想定調査報告書, 平成 9 年 3 月.
- 69) 札幌市 (1997) 札幌市想定地震被害評価調査報告書, 平成 9 年 3 月.
- 70) 仙台市防災会議 (1997) 仙台市防災都市づくり基本計画, 平成 9 年 3 月.
- 71) 千葉市防災会議 (1997) 千葉市地域防災計画, 平成 9 年度.
- 72) 川崎市 (1997) 川崎市地震被害想定調査報告書 近距離地震の追加検討 プレート間地震 立川断層による地震, 平成 9 年 3 月.
- 73) 川崎市 (1997) 川崎市地震被害想定調査報告書 近距離地震の追加検討 プレート間地震 立川断層による地震 概要, 平成 9 年 3 月.
- 74) 横浜市総務局災害対策室 (1997) 横浜市における地震被害想定手法開発調査委託報告書, 平成 9 年 3 月.
- 75) 名古屋市防災会議地震災害対策部会 (1997) 名古屋市地震被害想定調査報告書, 平成 9 年 3 月.
- 76) 名古屋市 (1999) 名古屋市地震被害想定調査報告書 修正版, 平成 11 年 3 月.
- 77) 名古屋市 (1999) 名古屋市地震被害想定調査 建築物・火災・人的被害想定 結果数量編, 平成 11 年 3 月.
- 78) 名古屋市 (1999) 名古屋市地震被害想定調査 地表地震動の推定及び液状化予測報告書 修正版, 平成 11 年 3 月.
- 79) 名古屋市 (1999) 名古屋市地震被害想定調査 火災被害想定報告書修正版, 平成 11 年 3 月.
- 80) 名古屋市 (1999) 名古屋市地震被害想定調査 人的被害想定報告書修正版, 平成 11 年 3 月.
- 81) 名古屋市 (1999) 名古屋市地震被害想定調査 建築構造物被害想定報告書修正版, 平成 11 年 3 月.
- 82) 京都市防災会議 (1997) 京都市地震被害想定, 平成 9 年 6 月 27 日.
- 83) 大阪市地域防災計画策定委員会 (1996) 第 2 次報告概要版, 平成 8 年 9 月.
- 84) 大阪市地域防災計画策定委員会 (1996) 第 2 次報告分科会 <災害想定>, 平成 8 年 9 月.
- 85) 大阪市地域防災計画策定委員会 (1996) 第 2 次報告分科会 <被害想定>, 平成 8 年 9 月.
- 86) 広島市 (1997) 広島市大規模地震被害想定調査報告書 <概要>, 平成 9 年 4 月.
- 87) Fukushima, Y. and T. Tanaka (1990) A new attenuation relation for peak horizontal acceleration of strong

- earthquake ground motion in Japan, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **84**, 757-783.
- 88) Fukushima, Y. and T. Tanaka (1991) A new attenuation relation for peak horizontal acceleration of strong earthquake ground motion in Japan, *Shimizu Technical Research Bulletin*, **10**, 1-11.
- 89) Graves, R. W. (1996) Simulating seismic wave propagation in 3D elastic media using staggered-grid finite-differences, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **86**.
- 90) Haskell, N. A. (1960) Crustal reflection of plane SH waves, *J. Geophys. Res.*, **65**, 4147-4150.
- 91) Iida, K. (1965) Earthquake magnitude, earthquake fault, and source dimensions, *Jour. Earth Si. Nagoya Univ.*, **13**, 115-132.
- 92) 活断層研究会 (1991) 新編 日本の活断層, 東京大学出版会.
- 93) Kobayashi, H. and S. Midorikawa (1982) A Semi-Empirical Method for Estimating Response Spectra of Near-Field Ground Motions with regard to Fault Rupture, 7th *E.C.E.E.S.*)
- 94) 松田時彦 (1975) 活動層から発生する地震の規模と周期について, *地震* **2**, **28**, 269-283.
- 95) 松岡昌志・翠川三郎 (1994) 国土数値情報とサイスミックマイクロゾーニング, 第 22 回地盤震動シンポジウム, 23-34.
- 96) Midorikawa, S., M. Matsuoka and K. Sakugawa (1994) Site Effects on Strong-Motion Records Observed during the 1987-Chiba-ken-toho-oki, Japan Earthquake, *Proc. Ninth Japan Earthq. Engrng. Sympo.*, E085-E090.
- 97) 宮腰淳一・林康裕・福和伸夫 (2000) 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*, **46B**, 121-134.
- 98) 村尾修・山崎文雄 (1999) 兵庫県南部地震における建物被害の自治体による調査法の比較検討, *日本建築学会計画系論文集*, **515**, 187-194.
- 99) 日本道路協会 (1996) 道路橋示方書.
- 100) 日本建築防災協会 (1991) 震災建築物等の被災度判定基準および復旧技術指針 (木造編), 3-29.
- 101) 佐藤良輔・阿部勝征・岡田義光・島崎邦彦・鈴木保典 (1989) 日本の地震断層パラメーター・ハンドブック, 鹿島出版会.
- 102) Schnabel, P. B., J. Lysmer and H. B. Seed (1972) SHAKE a computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites, *EERC*, 72-12.
- 103) 震災復興都市づくり特別委員会 (1995) 阪神・淡路大震災被害実態緊急調査 被災度別建物分布状況図集 - 縮尺 5000 分の 1 - .
- 104) 損害保険料率算定会 (1986 ~) 活断層による地震危険度に関する研究.
- 105) 損害保険料率算定会 (1998) 地震保険調査報告 26 地震被害想定資料集.
- 106) Tocher, D. (1958) Earthquake energy and ground breakage, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **48**, 147-153.
- 107) 宇佐美龍夫 (1996) 新編日本被害地震総覧, 東京大学出版会.
- 108) 宇津徳治・嶋悦造・吉井敏剋・山科健一郎 (1987) 地震の事典, 朝倉書店.
- 109) 吉村昌宏 (1998) 阪神・淡路大震災と地震保険, 地震予知総合研究振興会, *地震ジャーナル*, **25**, 51-58.