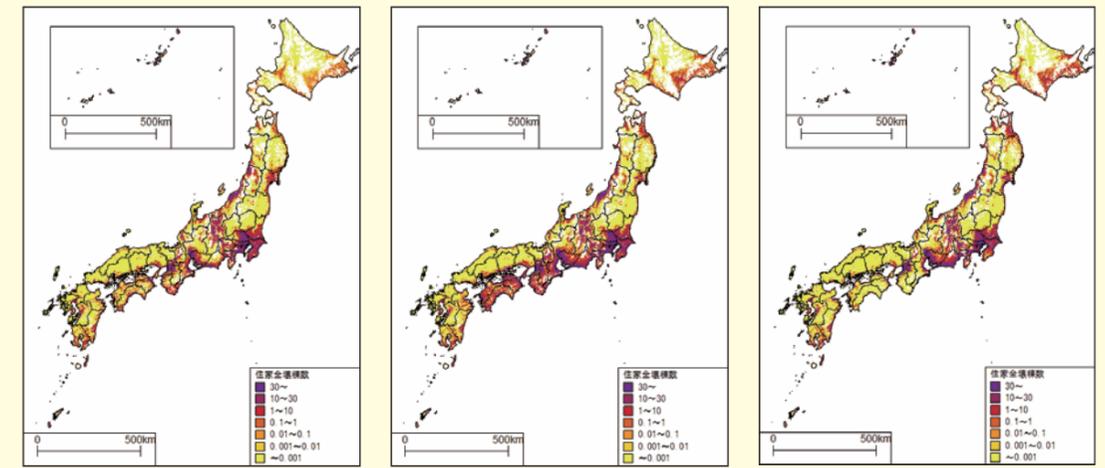


全国を対象とした地震リスク評価手法の検討

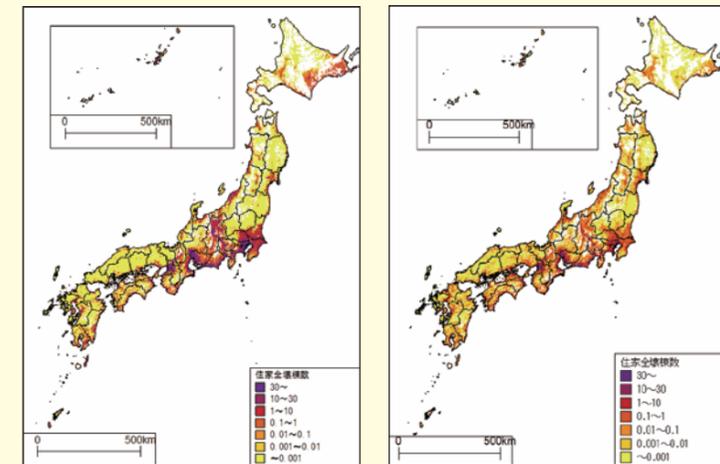
A Study on Evaluation Method of Seismic Risk of Japan



(1890~1919年)

(1920~1949年)

(1950~1979年)



(1980~2009年)

(2010~2039年)

防災科学技術研究所研究資料

- 第 347 号 地すべり地形分布図 第 48 集「羽幌・留萌」17 葉(5 万分の 1)。2010 年 11 月発行
- 第 348 号 平成 18 年度 大都市大震災軽減化特別プロジェクト実大 3 層 RC 建物実験報告書(付録 DVD) 68pp。2010 年 8 月発行
- 第 349 号 防災科学技術研究所による深層掘削調査の概要と岩石物性試験結果(足尾・新宮・牛伏寺)(付録 CD-ROM)12pp。2010 年 8 月発行
- 第 350 号 アジア防災科学技術情報基盤(DRH-Asia) コンテンツ集 266pp。2010 年 12 月発行
- 第 351 号 新庄における気象と降積雪の観測(2009/10 年冬期) 31pp。2010 年 12 月発行
- 第 352 号 平成 18 年度 大都市大震災軽減化特別プロジェクトⅡ 木造建物実験 - 震動台活用による構造物の耐震性向上研究 - (付録 CD-ROM)120pp。2011 年 1 月発行
- 第 353 号 地形・地盤分類および常時微動の H/V スペクトル比を用いた地震動のスペクトル増幅率の推定 242pp。2011 年 1 月発行
- 第 354 号 地震動予測地図作成ツールの開発(付録 DVD) 155pp。2011 年 5 月発行
- 第 355 号 ARTS により計測した浅間山の火口内温度分布(2007 年 4 月から 2010 年 3 月) 28pp。2011 年 1 月発行
- 第 356 号 長岡における積雪観測資料(32)(2009/10 冬期) 29pp。2011 年 2 月発行
- 第 357 号 浅間山鬼押出火山観測井コア試料の岩相と層序(付録 DVD) 32pp。2011 年 2 月発行
- 第 358 号 強震ネットワーク 強震データ Vol. 29(平成 22 年 No. 1)(CD-ROM 版)。2011 年 2 月発行
- 第 359 号 強震ネットワーク 強震データ Vol. 30(平成 22 年 No. 2)(CD-ROM 版)。2011 年 2 月発行
- 第 360 号 K-NET・KiK-net 強震データ(1996 - 2010)(DVD 版 6 枚組)。2011 年 3 月発行
- 第 361 号 統合化地下構造データベースの構築 <地下構造データベース構築ワーキンググループ報告書> 平成 23 年 3 月 238pp。2011 年 3 月発行
- 第 362 号 地すべり地形分布図 第 49 集「旭川」16 葉(5 万分の 1)。2011 年 11 月発行
- 第 363 号 長岡における積雪観測資料(33)(2010/11 冬期) 29pp。2012 年 2 月発行
- 第 364 号 新庄における気象と降積雪の観測(2010/11 年冬期) 45pp。2012 年 2 月発行
- 第 365 号 地すべり地形分布図 第 50 集「名寄」16 葉(5 万分の 1)。2012 年 3 月発行
- 第 366 号 浅間山高峰火山観測井コア試料の岩相と層序(付録 CD-ROM) 30pp。2012 年 2 月発行
- 第 367 号 防災科学技術研究所による関東・東海地域における水圧破砕井の孔井検層データ 29pp。2012 年 3 月発行
- 第 368 号 台風災害被害データの比較について(1951 年～2008 年, 都道府県別資料)(付録 CD-ROM)19pp。2012 年 5 月発行
- 第 369 号 E-Defense を用いた実大 RC 橋脚(C1-5 橋脚)震動破壊実験研究報告書- 実在の技術基準で設計した RC 橋脚の耐震性に関する震動台実験及びその解析 - (付録 DVD) 64pp。2012 年 10 月発行
- 第 370 号 強震動評価のための千葉県・茨城県における浅部・深部地盤統合モデルの検討(付録 CD-ROM) 410pp。2013 年 3 月発行
- 第 371 号 野島断層における深層掘削調査の概要と岩石物性試験結果(平林・岩屋・甲山)(付録 CD-ROM) 27pp。2012 年 12 月発行
- 第 372 号 長岡における積雪観測資料(34)(2011/12 冬期) 31pp。2012 年 11 月発行
- 第 373 号 阿蘇山一の宮および白水火山観測井コア試料の岩相記載(付録 CD-ROM) 48pp。2013 年 2 月発行
- 第 374 号 霧島山万膳および夷守台火山観測井コア試料の岩相記載(付録 CD-ROM) 50pp。2013 年 3 月発行
- 第 375 号 新庄における気象と降積雪の観測(2011/12 年冬期) 49pp。2013 年 2 月発行
- 第 376 号 地すべり地形分布図 第 51 集「天塩・枝幸・稚内」20 葉(5 万分の 1)。2013 年 3 月発行
- 第 377 号 地すべり地形分布図 第 52 集「北見・紋別」25 葉(5 万分の 1)。2013 年 3 月発行
- 第 378 号 地すべり地形分布図 第 53 集「帯広」16 葉(5 万分の 1)。2013 年 3 月発行
- 第 379 号 東日本大震災を踏まえた地震ハザード評価の改良に向けた検討 349pp。2012 年 12 月発行
- 第 380 号 日本の火山ハザードマップ集 第 2 版(付録 DVD) 186pp。2013 年 7 月発行
- 第 381 号 長岡における積雪観測資料(35)(2012/13 冬期) 30pp。2013 年 11 月発行
- 第 382 号 地すべり地形分布図 第 54 集「浦河・広尾」18 葉(5 万分の 1)。2014 年 2 月発行
- 第 383 号 地すべり地形分布図 第 55 集「斜里・知床岬」23 葉(5 万分の 1)。2014 年 2 月発行
- 第 384 号 地すべり地形分布図 第 56 集「釧路・根室」16 葉(5 万分の 1)。2014 年 2 月発行
- 第 385 号 東京都市圏における水害統計データの整備(付録 DVD) 6pp。2014 年 2 月発行
- 第 386 号 The AITCC User Guide -An Automatic Algorithm for the Identification and Tracking of Convective Cells- 33pp。2014 年 3 月発行
- 第 387 号 新庄における気象と降積雪の観測(2012/13 年冬期) 47pp。2014 年 2 月発行
- 第 388 号 地すべり地形分布図 第 57 集「沖縄県域諸島」25 葉(5 万分の 1)。2014 年 3 月発行

防災科学技術研究所研究資料

- 第 389 号 長岡における積雪観測資料(36)(2013/14 冬期) 22pp。2014 年 12 月発行
- 第 390 号 新庄における気象と降積雪の観測(2013/14 年冬期) 47pp。2015 年 2 月発行
- 第 391 号 大規模空間吊り天井の脱落被害メカニズム解明のための E-ディフェンス加振実験 報告書 - 大規模空間吊り天井の脱落被害再現実験および耐震吊り天井の耐震余裕度検証実験 - 193pp。2015 年 2 月発行
- 第 392 号 地すべり地形分布図 第 58 集「鹿児島県域諸島」27 葉(5 万分の 1)。2015 年 3 月発行
- 第 393 号 地すべり地形分布図 第 59 集「伊豆諸島および小笠原諸島」10 葉(5 万分の 1)。2015 年 3 月発行
- 第 394 号 地すべり地形分布図 第 60 集「関東中央部」15 葉(5 万分の 1)。2015 年 3 月発行
- 第 395 号 水害統計全国版データベースの整備。発行予定
- 第 396 号 2015 年 4 月ネパール地震(Gorkha 地震)における災害情報の利活用に関するヒアリング調査 58pp。2015 年 7 月発行
- 第 397 号 2015 年 4 月ネパール地震(Gorkha 地震)における建物被害に関する情報収集調査速報 16pp。2015 年 9 月発行
- 第 398 号 長岡における積雪観測資料(37)(2014/15 冬期) 29pp。2015 年 11 月発行
- 第 399 号 東日本大震災を踏まえた地震動ハザード評価の改良(付録 DVD) 253pp。2015 年 12 月発行
- 第 400 号 日本海溝に発生する地震による確率論的津波ハザード評価の手法の検討(付録 DVD) 216pp。2015 年 12 月発行
- 第 401 号 全国自治体の防災情報システム整備状況 47pp。2015 年 12 月発行
- 第 402 号 新庄における気象と降積雪の観測(2014/15 年冬期) 47pp。2016 年 2 月発行
- 第 403 号 地上写真による島海山南東斜面の雪渓の長期変動観測(1979～2015 年) 52pp。2016 年 2 月発行
- 第 404 号 2015 年 4 月ネパール地震(Gorkha 地震)における地震の概要と建物被害に関する情報収集調査報告 54pp。2016 年 3 月発行
- 第 405 号 土砂災害予測に関する研究集会-現状の課題と新技術-プロシーディング 220pp。2016 年 3 月発行
- 第 406 号 津波ハザード情報の利活用報告書 132pp。2016 年 8 月発行
- 第 407 号 2015 年 4 月ネパール地震(Gorkha 地震)における災害情報の利活用に関するインタビュー調査 - 改訂版 - 120pp。2016 年 10 月発行
- 第 408 号 新庄における気象と降積雪の観測(2015/16 年冬期) 39pp。2017 年 2 月発行
- 第 409 号 長岡における積雪観測資料(38)(2015/16 冬期) 28pp。2017 年 2 月発行
- 第 410 号 ため池堤体の耐震安全性に関する実験研究 - 改修されたため池堤体の耐震性能検証 - 87pp。2017 年 2 月発行
- 第 411 号 土砂災害予測に関する研究集会-熊本地震とその周辺-プロシーディング 231pp。2017 年 3 月発行
- 第 412 号 衛星画像解析による熊本地震被災地域の斜面・地盤変動調査 - 多時期ペアの差分干渉 SAR 解析による地震後の変動抽出 - 107pp。2017 年 9 月発行
- 第 413 号 熊本地震被災地域における地形・地盤情報の整備 - 航空レーザ計測と地上観測調査に基づいた防災情報データベースの構築 - 154pp。2017 年 9 月発行
- 第 414 号 2017 年度全国市区町村への防災アンケート結果概要 69pp。2017 年 12 月発行

- 編集委員会 -		防災科学技術研究所研究資料 第 415 号
(委員長)	河合 伸一	
(委員)		編集兼 国立研究開発法人
松澤 孝紀	三輪 学央	発行者 防災科学技術研究所
若月 強	平島 寛行	〒305-0006
中村いずみ		茨城県つくば市天王台 3-1
(事務局)		電話 (029)863-7635
白田裕一郎	横山 敏秋	http://www.bosai.go.jp/
(編集・校正)	樋山 信子	印刷所 前田印刷株式会社
		茨城県つくば市山中 152-4

© National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience 2018

※防災科学技術研究所の刊行物については、ホームページ (<http://dil-opac.bosai.go.jp/publication/>) をご覧下さい。



表紙図・・・過去から現在における地震リスクの変遷の表示例
(1890 年から 2010 年まで 30 年毎の評価基準年における 30 年超過確率 3% の住家全壊棟数)

全国を対象とした地震リスク評価手法の検討

藤原広行^{*1}・佐伯琢磨^{*2}・中村洋光^{*1}・河合伸一^{*1}・森川信之^{*1}・前田宜浩^{*1}・はお憲生^{*1}・
内藤昌平^{*1}・東 宏樹^{*1}・岩城麻子^{*1}・清水 智^{*3}・小丸安史^{*3}・若浦雅嗣^{*3}・
時実良典^{*3}・早川 讓^{*4}

A Study on Evaluation Method of Seismic Risk of Japan

Hiroyuki FUJIWARA^{*1}, Takuma SAEKI^{*2}, Hiromitsu NAKAMURA^{*1}, Shinichi KAWAI^{*1}, Nobuyuki
MORIKAWA^{*1}, Takahiro MAEDA^{*1}, Ken Xiansheng HAO^{*1}, Shohei NAITO^{*1}, Hiroki AZUMA^{*1},
Asako IWAKI^{*1}, Satoshi SHIMIZU^{*3}, Yasushi KOMARU^{*3}, Masatsugu WAKAURA^{*3},
Yoshinori TOKIZANE^{*3}, and Yuzuru HAYAKAWA^{*4}

^{*1} *Integrated Research on Disaster Risk Reduction Division,
National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience*

^{*3} *OYO RMS Corporation*

^{*4} *OYO Corporation*

^{*1} 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 社会防災システム研究部門

^{*2} 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 社会防災システム研究部門（現：京都大学防災研究所）

^{*3} 応用アール・エム・エス株式会社

^{*4} 応用地質株式会社

目次

1. はじめに.....	1
2. 地震ハザード・リスク情報の利活用形態の検討と整理.....	2
2.1 地震ハザード情報の事例整理.....	2
2.2 地震リスク情報の事例整理.....	5
2.3 地震ハザード・リスク情報の利活用事例.....	7
2.4 まとめ.....	8
2.5 参考文献.....	8
3. 全国概観版地震リスク評価手法の検討.....	10
3.1 概要.....	10
3.2 全国概観版地震リスク評価の基本的な考え方.....	10
3.2.1 確率論的リスク評価.....	10
3.2.2 シナリオベースのリスク評価.....	11
3.3 被害予測手法の検討.....	11
3.3.1 建物被害予測手法の検討.....	11
3.3.2 人的被害予測手法の検討.....	36
3.4 市区町村単位のリスク評価手法の検討.....	39
3.4.1 ハザードと被害のばらつきの検討.....	40
3.4.2 メッシュ単位から市区町村単位への統合.....	41
3.4.3 市区町村単位のリスクカーブの計算方法.....	43
3.5 まとめ.....	44
3.6 参考文献.....	45
4. 全国概観版地震リスク評価.....	49
4.1 概要.....	49
4.2 リスク評価に利用した建物・人口データ.....	49
4.2.1 建物棟数データ.....	49
4.2.2 建物再調達価格データ.....	64
4.2.3 人口データ.....	69
4.3 地震リスク評価.....	78
4.3.1 確率論的リスク評価.....	78
4.3.2 シナリオベースのリスク評価.....	206
4.4 想定地震の選定手法の検討.....	242
4.4.1 想定地震の選定手法の検討.....	242
4.4.2 想定地震の選定結果例.....	244
4.5 まとめ.....	246
4.6 参考文献.....	247
5. 過去～現在の地震リスクの変遷に関する検討.....	249
5.1 概要.....	249
5.2 人口・住宅建物データの作成.....	249
5.2.1 データの作成方針.....	249
5.2.2 人口データの作成.....	249
5.2.3 住宅建物データの作成.....	264
5.3 被害予測手法の検討.....	280
5.3.1 概要.....	280
5.3.2 住宅建物被害の予測手法.....	280
5.3.3 人的被害の予測手法.....	291
5.4 過去～現在の地震リスク評価.....	294
5.4.1 概要.....	294
5.4.2 ハザード評価.....	294
5.4.3 住宅全壊リスク.....	296
5.4.4 人的被害リスク.....	319
5.5 まとめ.....	333
5.6 参考文献.....	334

6. 現在～将来の地震リスクの変遷に関する検討	338
6.1 概要	338
6.2 人口・建物データの作成	338
6.2.1 データの作成方針	338
6.2.2 建物棟数データの作成	338
6.2.3 建物再調達価格データの作成	359
6.2.4 人口データの作成	360
6.3 被害予測手法	367
6.3.1 概要	367
6.3.2 建物被害予測手法（棟数ベース）	367
6.3.3 建物被害予測手法（損失額ベース）	370
6.3.4 人的被害予測手法	370
6.4 現在～将来の地震リスク評価	371
6.4.1 概要	371
6.4.2 ハザード評価	371
6.4.3 建物棟数ベースのリスク評価	371
6.4.4 建物損失額ベースのリスク評価	382
6.4.5 人的被害のリスク評価	387
6.5 まとめ	395
6.6 参考文献	396
7. まとめと今後の課題	398

【付録】

付録 1. 詳細法によるシナリオベースのリスク評価結果	1
付録 1.1 詳細法による建物被害（建物棟数ベース）	1
付録 1.2 詳細法による建物被害（建物損失額ベース）	10
付録 1.3 詳細法による人的被害	13
付録 2. 簡便法によるシナリオベースのリスク評価結果	21
付録 2.1 簡便法による建物被害（建物棟数ベース）	21
付録 2.2 簡便法による建物被害（建物損失額ベース）	25
付録 2.3 簡便法による人的被害	29
付録 3. 地域類型化に関する検討	34
付録 3.1 はじめに	34
付録 3.2 地域類型化の枠組み検討	34
付録 3.2.1 地震被害の地域性を決める要因	34
付録 3.2.2 地域類型化の枠組み	34
付録 3.2.3 災害ポテンシャルの表現方法	35
(1) 災害ポテンシャルの表現方法	35
(2) 災害の種類	36
付録 3.3 地震災害のポテンシャルを示す指標値	37
付録 3.3.1 入力地震動	37
付録 3.3.2 建物データ	38
付録 3.3.3 震動による建物全壊率	38
付録 3.3.4 液状化による建物全壊率	39
付録 3.3.5 火災による建物全壊率	39
付録 3.3.6 土砂災害による建物全壊率	40
付録 3.3.7 指標の作成（建物全壊率の基準化）	41
付録 3.4 ケーススタディ	43
付録 3.4.1 地域類型の設定	43
付録 3.4.2 全国の地域類型	45
付録 3.5 成果と今後の課題	49
参考文献	49

1. はじめに

「全国地震動予測地図」は、地震調査研究推進本部が実施してきた地震動ハザード評価の成果の集大成として位置づけられるものであり、地震活動モデルや震源断層モデル、及び地下構造モデル等の地図の作成に必要なデータまで含めると膨大な量の情報を含んでいる。防災科学技術研究所では、地震動予測地図の利用に関する検討の一環として、「地震動予測地図工学利用検討委員会」（委員長：亀田弘行）を設置し検討を行ってきた。本委員会がまとめた報告書では、「地震動予測地図」を最終成果物としての地図そのものだけでなく、その作成の前提条件となった地震活動・震源モデル及び地下構造モデル等の評価プロセスに関わるデータも併せた情報群としてとらえることにより、「地震ハザードの共通情報基盤」として位置づけるべきとの提言がなされた。この提言を実現するために、防災科学技術研究所では「地震動予測地図」の公開システムの開発を実施し、同報告書により提案された名称を採用し、「地震ハザードステーション J-SHIS」として、2005年5月より運用を開始し、その後改良が続けられ、現在に至っている。

本資料は、明らかとなった地震ハザード情報（全国地震動予測地図）を元に、日本の地震リスクを定量化することを試みたものである。なお、本資料におけるリスク評価は日本全体の地震リスクを把握することを主眼としている。以降、地震リスク評価を「全国概観版リスク評価」と称す。

本資料の内容は以下の通りである。

- 地震ハザード・リスク情報の利活用形態の検討と整理(第2章)
- 全国概観版地震リスク評価の手法の検討(第3章)
- 全国概観版地震リスク評価(第4章)
- 過去～現在の地震リスクの変遷に関する検討(第5章)
- 現在～将来の地震リスクの変遷に関する検討(第6章)

第2章では地震ハザード・リスク情報について、国内外の事例を整理した。

第3章では、全国地震動予測地図に基づくリスク

評価を実施するにあたり、建物被害や人的被害に関する予測手法について、過去の被害地震における整合性等の観点から検討を行い、全国概観版リスク評価において適用する手法を選定した。また、メッシュ単位のリスク評価を市区町村単位に統合する際のばらつきについて検討を行い、確率論的ハザード評価に基づく市区町村単位のリスク評価手法について検討した。

第4章では、全国概観版地震リスク評価に利用する人口や建物データを構築するとともに、全国地震動予測地図に基づき全国概観版地震リスク評価を行った結果を示した。全国概観版地震リスク評価は確率論的地震動予測地図にもとづいた確率論的リスク評価と、特定の震源で地震が発生した場合のシナリオベースのリスク評価を実施した。なお、本資料の確率論的リスク評価は2015年1月1日時点の評価基準としたものである。

第5章では、1890年から2010年まで30年毎に評価基準年を設定し、30年確率を用いたリスク評価を実施し、過去から現在に至る日本の地震リスクの変遷を示した。リスク評価は住宅全壊、死者数を対象に実施した。評価の際は、過去の人口や建物データを作成するとともに、過去の被害地震の実被害から被害関数も作成した。

第6章では、現在～将来の日本の地震リスクを推定し、その変遷を示した。具体的には、2010年、2025年、2040年を評価基準年としたリスク評価を実施した。リスク評価の実施にあたっては、国立社会保障・人口問題研究所の将来推計人口等を利用し、リスク評価用の将来の人口や建物データを推定した上で評価を実施した。

以降の章では、これらの検討結果や試算結果について示す。なお、本資料はあくまで現時点における成果を整理したものであり、今後の検討によって内容や試算結果等が変更される可能性があることに留意されたい。

2. 地震ハザード・リスク情報の利活用形態の検討と整理

本章では、地震ハザード情報および地震リスク情報の事例を収集整理し、現状における利活用形態の状況をとりとまとめた。

2.1 地震ハザード情報の事例整理

本項では、web を利用し、国内外において、地震ハザード情報に関して公に発信している代表的な事例を収集し、URL、公表機関、範囲、指標、評価対象、作成年、結果例の項目で整理を行った。収集した事例は海外 6 例、国内 5 例である。なお、国内事例については、地方自治体において数多くの事例が存在するが、類似例が多いため、ここでは後述の地震防災マップのみに限定した。以下、事例ごとに整理した内容を示す。

(1) 海外の事例

a) The Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP)

URL : <http://www.seismo.ethz.ch/gshap/>

機関 : the United Nations International Decade for Natural Disaster Reduction (UN/IDNDR).

範囲 : 全世界

指標 : PGA - rock

対象 : 50 年間で 10% 超過確率の地震動

作成年 : 1998 年

結果例 : 図 2.1-1 参照

GLOBAL SEISMIC HAZARD MAP



図 2.1-1 全世界における 50 年間で 10% 超過確率となる PGA 分布

b) National Seismic Hazard Maps

URL : <http://earthquake.usgs.gov/hazards/products/>

機関 : USGS

範囲 : アメリカ合衆国

指標 : PGA, Sa(0.2s,1.0s) - Vs30=760m/s 相当の地盤(2008, 2014)

対象 : 50 年間で 2% および 10% 超過確率となる地震動(2008, 2014)

作成年 : 48 Conterminous States (1996 年, 2002 年, 2008 年, 2014 年, 2016 年)

Alaska(1999 年, 2007 年)

Hawaii(1996 年)

Puerto Rico(2003 年)

結果例 : 図 2.1-2 参照

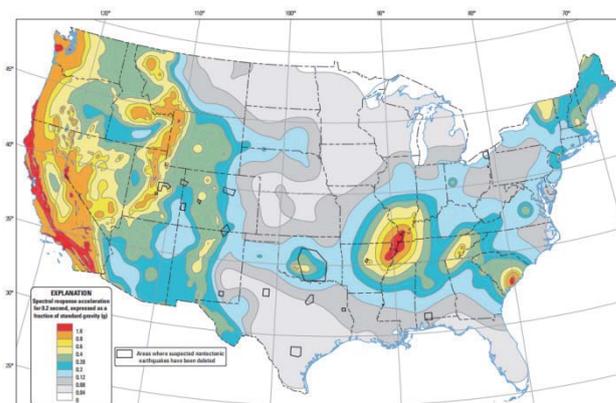


図 2.1-2 全米における 50 年間で 10% 超過確率となる Sa(0.2sec) 分布

c) Urban Seismic Hazards

URL : <http://earthquake.usgs.gov/hazards/products/urban/>

機関 : USGS

範囲 : シアトル, メンフィスほか

指標 : シアトル : Sa(1.0s) - 地表

メンフィス : PGA, Sa(0.2s,1.0s) - 地表

対象 : シアトル : 50 年間で 2%, 5%, 10% 超過確率となる地震動

メンフィス : 50 年間で 2%, 10% 超過確率となる地震動

作成年 : シアトル : 2007 年(?)

メンフィス : 2004 年

結果例 : 図 2.1-3 参照

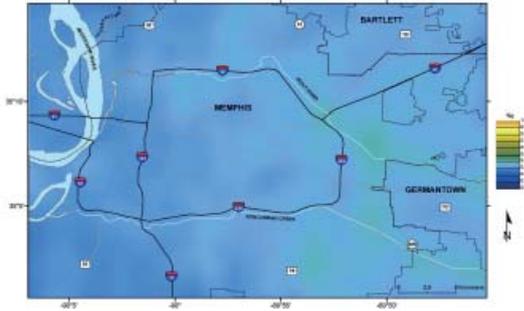


図 2.1-3 メンフィスにおける 50 年間で 10% 超過確率となる Sa(0.2sec) 分布

d) Deterministic and Scenario Ground-Motion Maps

URL : <http://earthquake.usgs.gov/hazards/products/scenario/>

機関 : USGS

範囲 : シナリオ地震周辺地域

指標 : Instrumental Intensity, PGA, PGV, Sa (0.3s, 1.0s, 3.0s)

対象 : シナリオ地震の地震動(100 以上)

作成年 : 2003 年(?)以降

結果例 : 図 2.1-4 参照

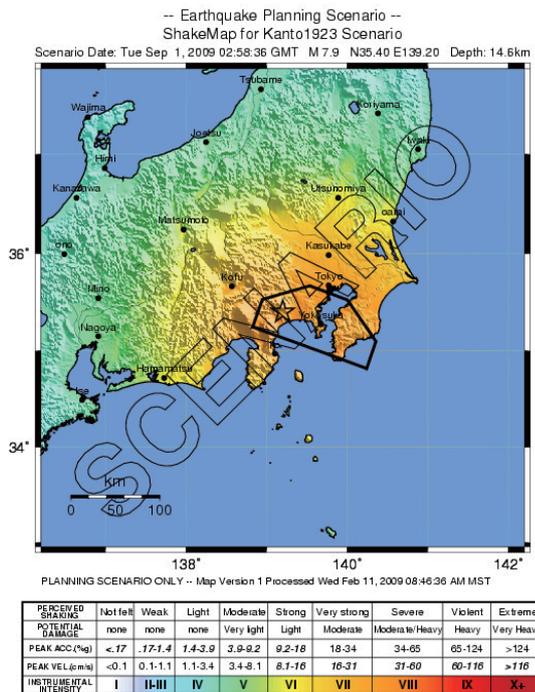


図 2.1-4 関東地震における MMI 分布

e) GLOBAL EARTHQUAKE MODEL (GEM)

URL : <https://www.globalquakemodel.org/>

機関 : GEM Foundation

範囲 : 全世界

指標 : PGA, PGV, Sa など

対象 : 確率的ハザード, シナリオ地震など

作成年 : 2007 年～

結果例 : 図 2.1-5 参照

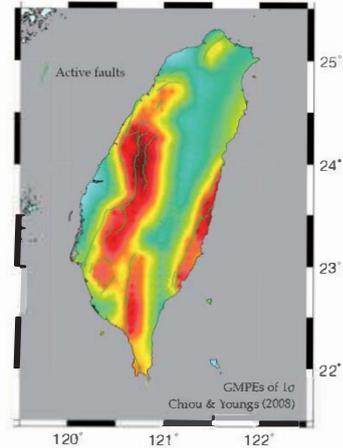


図 2.1-5 台湾の地殻内地震によるハザードマップ

f) relief web

URL : <http://reliefweb.int/>

機関 : the UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (OCHA).

範囲 : アジア太平洋各国

指標 : MMI

対象 : 50 年間で 20% 超過確率の地震動

作成年 : 2014 年

結果例 : 図 2.1-6 参照

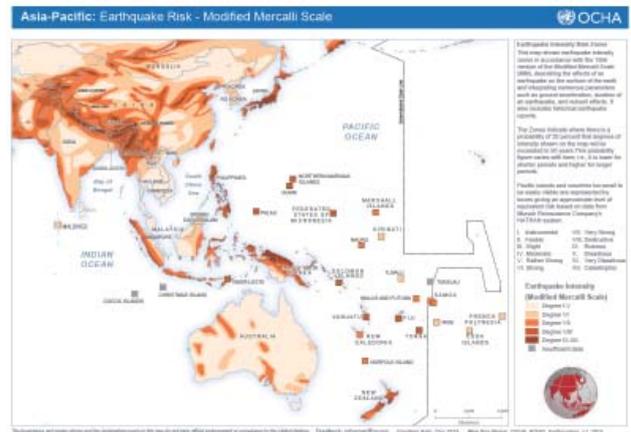


図 2.1-6 アジア・太平洋の地震ハザードマップ

(2) 国内の事例

a) 全国地震動予測地図(確率論的地震動予測地図)

URL : http://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/shm_report/

機関 : 地震調査研究推進本部

範囲 : 日本全国

指標 : PGV, 計測震度 - 地表

対象 : 今後30年間の超過確率6%, 3%となる地震動, 今後50年間の超過確率39%, 10%, 5%, 2%となる地震動など

作成年 : 2005年~(最新版は2016年)

結果例 : 図2.1-7 参照

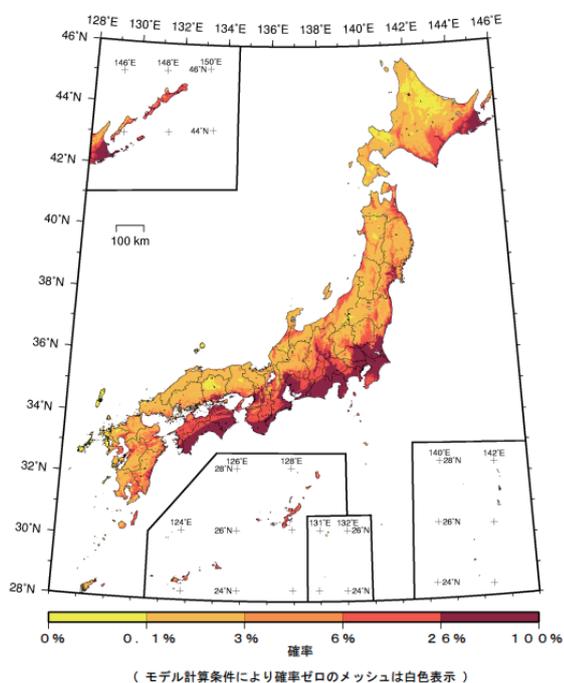


図2.1-7 今後30年間に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率(2016年版)

b) 全国地震動予測地図(震源を特定した地震動予測地図)

URL : http://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/shm_report/

機関 : 地震調査研究推進本部

範囲 : シナリオ地震周辺

指標 : PGV, 計測震度 - 地表

対象 : 主要活断層, その他の活断層

作成年 : 2001年~

結果例 : 図2.1-8 参照

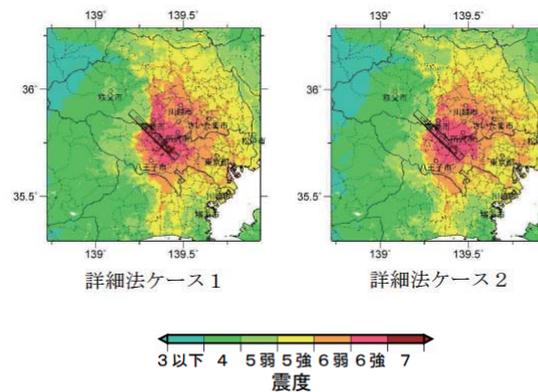


図2.1-8 震源断層を特定した地震動予測地図: 立川断層帯(2016年版)

c) 内閣府および中央防災会議の各専門調査会

URL : <http://www.bousai.go.jp/>

機関 : 内閣府, 中央防災会議

範囲 : シナリオ地震周辺

指標 : 計測震度 - 地表

対象 : シナリオ地震の地震動

作成年 : 2001年~

結果例 : 図2.1-9 参照

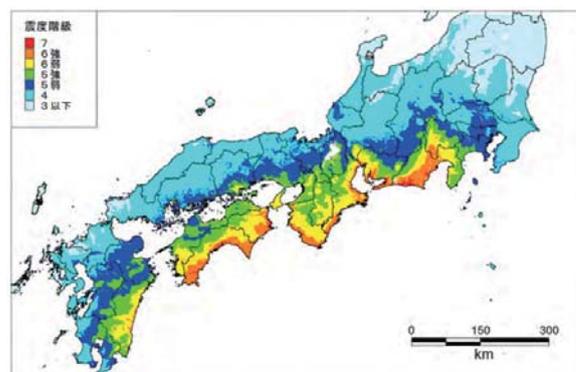


図2.1-9 南海トラフ巨大地震による震度分布

d) 地震の揺れやすさ全国マップ

URL : <http://www.bousai.go.jp/>

機関 : 中央防災会議

範囲 : 日本全国

指標 : 計測震度増分

対象 : 表層地盤の揺れやすさ

作成年 : 2005年~

結果例 : 図2.1-10 参照

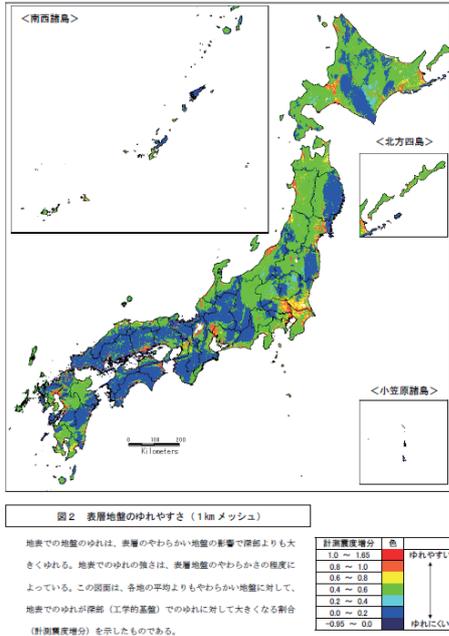


図 2.1-10 全国における表層地盤の揺れやすさマップ

e) 地震の揺れやすさマップ

URL : <https://www.city.shibuya.tokyo.jp/anzen/bosai/hasai/pdf/yure2014.pdf>
(渋谷区の場合)

機関：各市区町村
 範囲：市区町村全域
 指標：計測震度 - 地表
 対象：想定地震およびどこでも起こりうる直下の地震より想定しうる最大地震動
 作成年：2014年(渋谷区の場合)
 結果例：図 2.1-11 参照

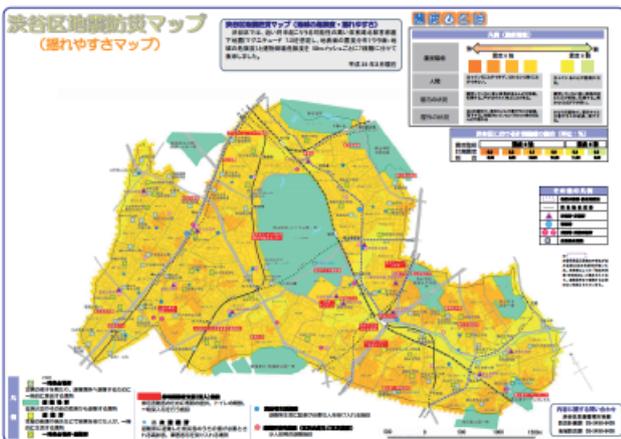


図 2.1-11 渋谷区における揺れやすさマップ

2.2 地震リスク情報の事例整理

本項では、web を利用し、国内外において、地震リスク情報に関して公に発信している代表的な事例を収集し、URL、公表機関、範囲、被害項目、評価対象、作成年、結果例の項目で整理を行った。収集した事例は海外3例、国内2例である。なお、国内事例については、地方自治体において数多くの事例が存在するが、前項と同様に代表して渋谷区のみを示した。以下、事例ごとに整理した内容を示す。

(3) 海外の事例

a) HAZUS (Hazards U.S.)

URL : <https://www.fema.gov/hazus>

機関：the Federal Emergency Management Agency (FEMA).

範囲：行政区域

項目：Physical damage, Economic loss, Social impacts

対象：シナリオ地震の被害

作成年：1997年～

結果例：図 2.2-1 参照

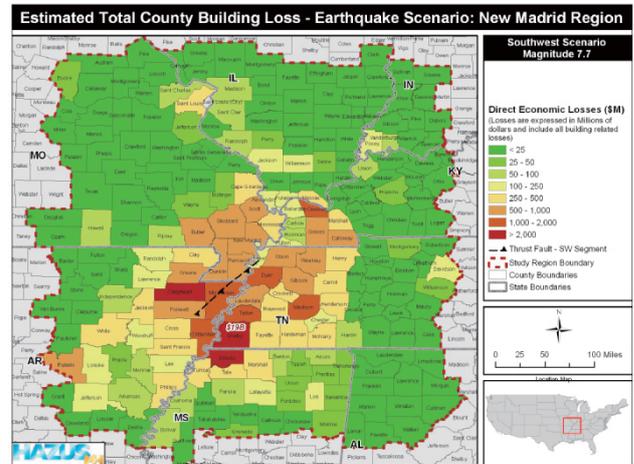


図 2.2-1 M7.7のシナリオ地震が発生した場合のニューマドリッド地域での建物損害額分布

b) Statistics and natural hazard risk for 50 selected megacities

URL : https://www.munichre.com/site/corporate/get/documents_E-2012612043/mr/assetpool.shared/Documents/0_Corporate%20Website/6_Media%20Relations/Press%20Releases/Legacy/pm_2005_01_11_01_en.pdf

機 関：ミュンヘン再保険グループ
 範 囲：世界 50 都市
 項 目：Risk Index
 対 象：地震も含めた自然災害リスク
 作成年：2005 年
 結果例：表 2.2-1 参照

表 2.2-1 世界の巨大都市における自然災害のリスク

Statistics and natural hazard risk for 50 selected megacities

Megacity	Country	Population (mill.)		Area (km ²) (2)	City GDP in % of country's GDP (3)	Natural hazards (4)	Risk Index (5)
		As at 2003	Forecast for 2015				
Tokyo	Japan	35.0	36.2	13,100	40	a	710.0
New York	USA	21.2	22.8	10,788	<10	c	42.0
Seoul, Incheon	South Korea	20.3	24.7	4,400	50	c	15.0
Mexico City	Mexico	18.7	20.8	4,600	40	a	19.0
Sao Paulo	Brazil	17.9	20.0	4,800	25	b	2.5
Mumbai	India	17.4	22.6	4,350	15	b	5.1
Los Angeles	USA	16.4	17.6	14,000	<10	a	100.0
Delhi	India	14.1	20.9	1,500	<5	b	1.5
Manila, Quezon	Philippines	13.9	16.8	2,200	30	a	31.0
Calcutta	India	13.8	16.8	1,400	<10	b	4.2
Buenos Aires	Argentina	13.0	14.6	3,900	45	c	4.2
Osaka, Kobe, Kyoto	Japan	12.0	13.2	2,850	20	a	92.0
Shanghai	China	12.8	12.7	1,600	<10	c	13.0
Jakarta	Indonesia	12.3	12.5	1,600	30	b	3.6
Dhaka	Bangladesh	11.6	12.9	1,500	60	a	2.3
Rio de Janeiro	Brazil	11.2	12.4	2,400	15	c	1.8
Karachi	Pakistan	11.1	16.2	1,200	20	a	3.1
Ruhr area	Germany	11.1	11.1	9,800	15	c	14.0
Cairo	Egypt	10.8	13.1	1,400	60	b	1.8
Beijing	China	10.8	11.1	1,400	<5	b	15.0
Lagos	Nigeria	10.7	12.0	1,100	30	b	0.7
Moscow	Russian Fed.	10.5	10.9	1,100	20	b	11.0
Paris	France	9.8	10.0	2,600	30	a	25.0
Istanbul	Turkey	9.4	11.3	2,650	25	a	4.8
Chicago	USA	9.2	10.0	8,000	<5	c	20.0
Lima	Peru	7.9	9.4	550	50	a	3.7
Washington, Baltimore	USA	7.6	8.6	9,000	<5	c	16.0
London	UK	7.6	7.6	1,600	15	a	30.0
Bogota	Colombia	7.3	8.9	500	20	a	8.8
Teheran	Iran	7.2	8.5	500	40	a	4.7

None Low Medium High

c) CALIFORNIA EARTHQUAKE ZONING and PROBABLE MAXIMUM LOSS EVALUATION PROGRAM

URL : http://www.insurance.ca.gov/0400-news/0200-studies-reports/upload/EQ_PML_RPT_1997_2001.pdf

機 関：California Department of Insurance (CDI).

範 囲：カリフォルニア州
 項 目：州内のゾーン別の PML
 対 象：州内の全損保会社が保障する建物および家財の地震による PML
 作成年：1978 年～
 結果例：表 2.2-2 参照

表 2.2-2 カリフォルニア州内の 8 つのゾーンでの損保会社の保障対象の地震における PML

TABLE 1: Total Probable Maximum Losses (PMLs) -- All Companies
 This table shows that the insurance industry insures a substantial amount of earthquake risk in California.

(in Millions)

Earthquake Zone	Direct Insured Probable Maximum Losses (PMLs) as of the End of:								
	1992	1993	1993/92	1994	1994/93	1995	1995/94	1996	1996/95
A. San Francisco	\$13,169	\$11,324	-14.2%	\$11,729	3.6%	\$12,912	9.2%	\$11,532	-10.3%
B. Los Angeles / Orange	\$16,707	\$13,828	-18.0%	\$13,863	0.2%	\$16,485	19.7%	\$16,245	-1.6%

(in Millions)

Earthquake Zone	The Total Direct Liability (total property values) and Direct Insured PMLs (expected damage) across California:															
	Direct Liability		% Chng		Dir Lib		% Chng		Dir Lib		% Chng		Dir Lib		% Chng	
A. San Francisco	\$23,239	\$22,747	-2.1%	\$107,113	-51.7%	\$140,586	31.2%	\$175,160	-18.1%	\$119,836	4.7%	\$131,271	9.5%	\$131,271	9.5%	

d) GLOBAL EARTHQUAKE MODEL (GEM)

URL : <https://www.globalquakemodel.org/>

機 関：GEM Foundation
 範 囲：全世界
 項 目：損失額など
 対 象：確率論的リスク、シナリオ地震被害、社会的被害 (integrated risk) など
 作成年：2007 年～
 結果例：図 2.2-2 参照

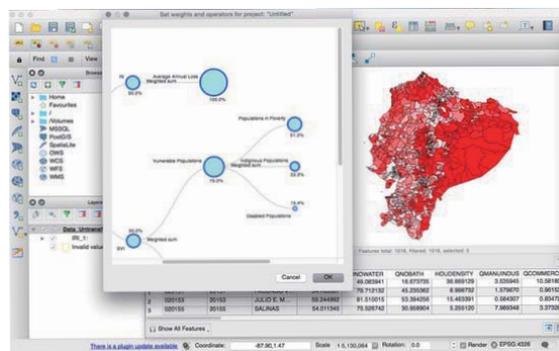


図 2.2-2 Integrated Risk Tool によるリスクマップ

(4) 国内の事例

a) 中央防災会議の各専門調査会
 URL : <http://www.bousai.go.jp/>

機 関：中央防災会議
 範 囲：シナリオ地震周辺
 項 目：直接的被害 (物的被害, 人的被害), 間接的被害 (経済被害他)
 対 象：シナリオ地震の被害
 作成年：2001 年～
 結果例：図 2.2-3 参照

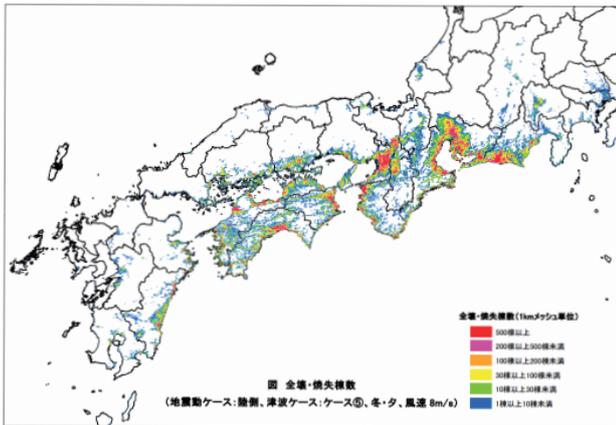


図 2.2-3 南海トラフ巨大地震による全壊・焼失棟数分布

b) 地震防災マップ（危険度マップ）

URL : <https://www.city.shibuya.tokyo.jp/anken/bosai/hasai/pdf/kikendo2014.pdf>
 (渋谷区の場合)

機 関：各市区町村
 範 囲：市区町村全域
 指 標：建物全壊率など
 対 象：シナリオ地震の被害など
 作成年：2014年(渋谷区の場合)
 結果例：図 2.2-4 参照



図 2.2-4 渋谷区における危険度マップ

2.3 地震ハザード・リスク情報の利活用事例

地震ハザード情報、リスク情報の利活用事例としては、以下のような代表的事例が挙げられる。

① 地域防災計画・行動計画策定

【内容】

地域のハザード情報およびリスク情報に基づいて、事前予防、地震発生、応急復旧、復興の各段階

において、行政機関が市民への被害軽減・生活支援のための防災計画や行動計画を策定する。利活用事例としては最も多い事例である。

【具体例】

国では平成 16～18 年において、首都直下で発生する地震で予測される震度分布、人的・物的被害、経済被害等から首都直下地震対策大綱(予防から、応急、復旧・復興までの対策のマスタープラン)、首都直下地震の地震防災戦略(定量的な減災目標と具体的な実現方法を定める計画)、首都直下地震応急対策活動要領(地震発生時の各省庁の具体的な役割や応援規模等を定める計画)を策定した。

② 市民への啓蒙・耐震化促進

【内容】

地域のハザードおよびリスクに関する詳細なマップを作成して、地震の危険度を周知し、市民に住宅耐震化の必要性を訴える。

【具体例】

横浜市では、平成 13 年に 50 m メッシュ別の震度マップを作成して公表したところ、それまで耐震診断の実施件数が年間 900 件程度であったものが、公表後には年間約 1,700 件に倍増して、改修件数も着実に増加した。

③ 設計基準の見直し

【内容】

地域ハザード情報やリスク情報に基づいて、地域の適切な設計基準を設定する。

【具体例】

福岡市では平成 20 年に警固断層の推定震度分布から、震度が大きいとされる町丁目に対し、設計地震力の上乗せ基準(地域係数 0.8 → 1.0)を条例で施行した。

④ 保険料率の見直し

【内容】

全国的確率論的地震ハザード情報に基づいて、適切な地域別の地震保険の料率を設定する。

【具体例】

損害保険料率算出機構では、地震調査研究推進本部より公表された地震動予測地図に基づいて、平成 18 年に地震保険料率算出方法を約 40 年ぶりに見直した。

⑤ リアルタイム地震被害予測システム、防災情報システムの構築

【内容】

地震ハザード情報およびリスク情報に関わるデータおよび算定方式をシステム化して、地震発生直後に震源情報や震度情報から全体の被害量および被害分布を予測し、災害対策本部の立ち上げや初動体制に役立てる。

【具体例】

国では、平成8年から地盤・地形、道路、行政機関、防災施設などに関する情報を必要に応じあらかじめデータベースとして登録し、この防災情報データベースを基礎として、災害対策に求められる各種の分析や発災後の被害情報の管理を行う地震防災情報システム(DIS)を構築している。

2.4 まとめ

国内外の地震ハザード情報および地震リスク情報を収集した事例や利活用事例を整理し、その内容を検討した結果、以下の点が指摘できる。

- ① 地震ハザード情報に関しては、確率論的な評価によるマップの事例がここ10～20年程度において国内外で見られるようになってきた。特に海外では、建物被害との関連を重視して、周期別に評価しているマップが多い。一方、日本では確率論的な評価はいまだ始まったばかりであり、確率論的評価の重要性を浸透させるため、震度表示が主となり、住民に分かりやすい指標を示すことが主眼となっている。ただし、現状においては住民に対して直感的にわかりやすいという点から、地方公共団体の事例を含めるとシナリオ地震による評価が圧倒的に多いのが実状である。
- ② 地震リスク情報に関しては、国内外で公的機関による確率論的な評価によるマップを発信している事例は見当たらなかった。リスクに直接関わる機関・企業において、概略的なリスク評価結果が公表されている事例が存在する程度である。この理由として、確率論的リスク評価における予測手法やばらつきの設定の方法論が十分に確立されていないことや、市民向けのマップの表現方法が難しいといったことが考えられる。そのため、公的機関からのリスク情報としては、シナリオ地震における事例がほぼ100%というのが実体である。

- ③ 国内では、地域のハザードマップやリスクマップを行政機関で印刷して、直接住民に配布する事例が最近みられている。その場合、住民がマップの内容を把握しやすいようにマップの外枠や裏面にわかりやすい説明書が付記されていることが多い。
- ④ 現状の利活用事例としては、国・自治体が防災計画・行動計画の策定に利用している事例が多くを占める。ただし、最近になって、市民への啓蒙・耐震化促進、設計基準の見直し、保険料率の見直し等、様々な分野・対象への利活用事例がみられるようになってきた。

2.5 参考文献

California Department of Insurance (2003) : CALIFORNIA EARTHQUAKE ZONING and PROBABLE MAXIMUM LOSS EVALUATION PROGRAM, http://www.insurance.ca.gov/0400-news/0200-studies-reports/upload/EQ_PML_RPT_1997_2001.pdf (2016年10月11日確認)

FEMA : HAZUS, <https://www.fema.gov/hazus> (2016年10月11日確認)

GEM Foundation : GLOBAL EARTHQUAKE MODEL, <https://www.globalquakemodel.org/> (2016年10月11日確認)

地震調査研究推進本部 : 全国地震動予測地図, http://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/shm_report/ (2016年10月11日確認)

ミュンヘン再保険 : Statistics and natural hazard risk for 50 selected megacities, https://www.munichre.com/site/corporate/get/documents_E-2012612043/mr/assetpool.shared/Documents/0_Corporate%20Website/6_Media%20Relations/Press%20Releases/Legacy/pm_2005_01_11_01_en.pdf (2016年10月11日確認)

内閣府 : 防災情報のページ, <http://www.bousai.go.jp/index.html> (2016年10月11日確認)

内閣府政策統括官(防災担当)(2005) : 「表層地盤のゆれやすさ全国マップ」について, relief web : <http://reliefweb.int/> (2016年10月11日確認)

渋谷区(2014a) : 渋谷区地震防災マップ(地域の危険度マップ),

<https://www.city.shibuya.tokyo.jp/anzen/bosai/hasai/pdf/kikendo2014.pdf> (2016年10月11日確認)

渋谷区 (2014b) : 渋谷区地震防災マップ (揺れやすさマップ),

<https://www.city.shibuya.tokyo.jp/anzen/bosai/hasai/pdf/yure2014.pdf> (2016年10月11日確認)

The Global Seismic Assessment Program (GSHAP) :

<http://www.seismo.ethz.ch/gshap/> (2016年10月11日確認)

USGS : Deterministic and Scenario Ground-Motion Maps, <http://earthquake.usgs.gov/hazards/products/scenario/> (2016年10月11日確認)

USGS : National Seismic Hazard Maps,

<http://earthquake.usgs.gov/hazards/products/> (2016年10月11日確認)

USGS : Urban Seismic Hazards,

<http://earthquake.usgs.gov/hazards/products/urban/> (2016年10月11日確認)

3. 全国概観版地震リスク評価手法の検討

3.1 概要

本章では、全国地震動予測地図（地震調査研究推進本部地震調査委員会，2014）に基づく全国概観版地震リスク評価手法の検討を行った。全国地震動予測地図は確率論的地震動予測地図と震源断層を特定した地震動予測地図から構成されているため、全国概観版地震リスク評価も確率論的地震ハザード評価に基づいた評価（以降、「確率論的リスク評価」と称す）とシナリオ地震に基づいた評価（以降、「シナリオベースのリスク評価」と称す）の2種類の評価を実施することとした。リスク評価は建物被害・人的被害を対象とした。評価手法の検討は以下の内容について行った。

- ① 確率論的リスク評価およびシナリオベースのリスク評価の基本的な考え方
- ② 建物被害・人的被害の予測手法の検討
- ③ 市区町村単位のリスク評価手法の検討

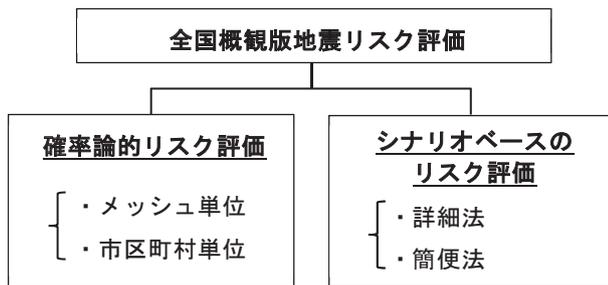


図 3.1-1 全国概観版地震リスク評価の構成

3.2 全国概観版地震リスク評価の基本的な考え方

一般に、地震リスク評価を行うためには、ハザード情報（ハザード評価）、暴露データ（エクスポージャ・データ）、脆弱性評価（フラジリティ評価）が必要となる（図 3.2-1 参照）。全国概観版リスク評価では、ハザードとして、全国地震動予測地図（地震調査研究推進本部地震調査委員会，2014）を利用するが、全国地震動予測地図は確率論的地震動予測地図と震源断層を特定した地震動予測地図から構成されているため、両方のリスク評価の枠組みを定める必要がある。以下では、本研究におけるそれぞれのリスク評価の基本的枠組み（考え方）について示した。



図 3.2-1 ハザード・エクスポージャ・フラジリティとリスクの関係

3.2.1 確率論的リスク評価

確率論的リスク評価とは、発生する様々な事象についての発生確率を考慮したリスク評価である。地震リスクの場合、将来起きるであろう地震が評価対象物にもたらす被害（または損失）の大きさとその発生確率を評価するものである。

地震調査研究推進本部では日本に強い揺れをもたらす全ての地震について、発生位置、規模、可能性を考慮した確率論的地震動予測地図を公表している。この確率論的地震動予測地図では、全国4分の1地域メッシュ（以降、「250 mメッシュ」と称す）毎に、地震動の大きさとその超過確率の関係を示すハザードカーブが計算されている。本研究では、この地震ハザードカーブにフラジリティ曲線を適用することで、被害（または損失）とその超過確率の関係を計算することとした。したがって、本研究によるリスク評価のばらつきの要因は、ハザードによる要因のみを想定し、フラジリティ曲線による要因は想定していない。

また、本研究では、メッシュ単位のリスク評価結果とともに、リスク評価結果の利活用の観点から、市区町村単位でリスク評価を集計する。ばらつきを持ったメッシュ単位の被害予測結果を市区町村単位で集計する場合、地震動の空間相関を考慮する必要がある。確率論的地震動予測地図のハザードカーブは地震群毎に計算されているが、地震動の空間相関を考慮しようとした場合、評価対象となる地域と各震源との位置関係（距離）が必要となるため、メッシュ単位の計算のようにハザードカーブからではな

く、震源毎にハザードを再計算する必要がある。このため、市区町村単位のリスク評価の場合は、各震源に距離減衰式を適用して平均的な地震動を算出し、地震動のばらつきに対応したフラジリティ曲線のばらつきを考慮した上で、これに地震動の空間相関とフラジリティ曲線を適用してリスク評価を行った。確率論的リスク評価の基本的な流れを図 3.2.1-1 に示す。

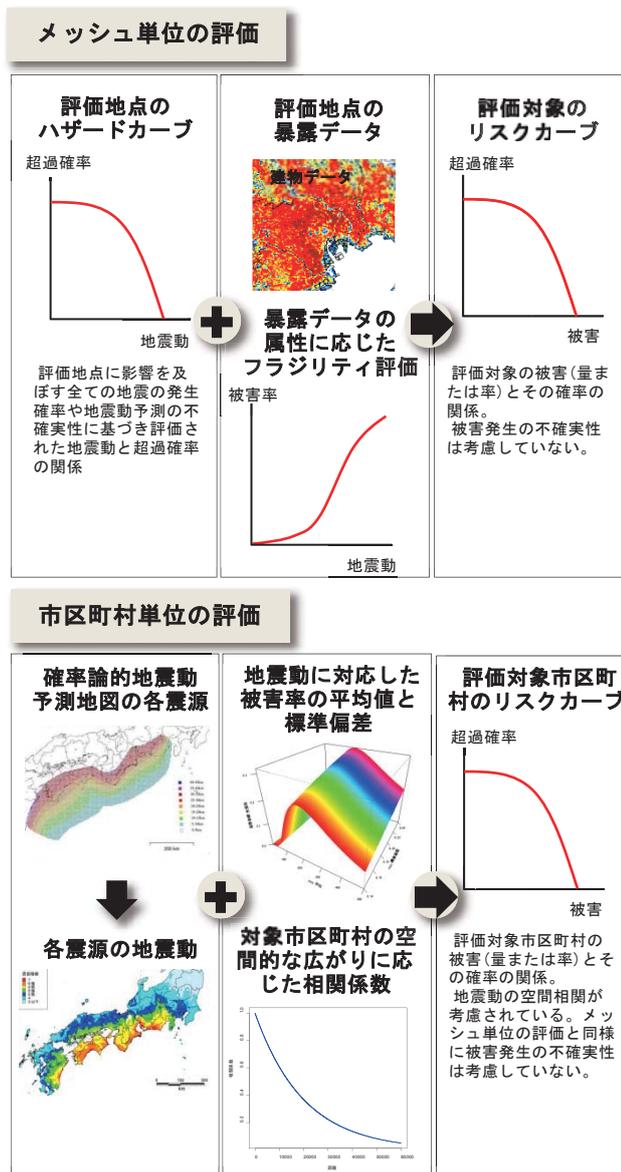


図 3.2.1-1 確率論的リスク評価の基本的な流れ

3.2.2 シナリオベースのリスク評価

シナリオベースのリスク評価は、震源断層を特定した地震動予測地図で用いられた詳細法によるハザード情報を利用する方法(以降、「詳細法」と称す)と、経験式に基づき評価する方法(以降、「簡便法」

と称す)により評価を行った。リスク評価は、詳細法・簡便法ともに、250 m メッシュ単位で予測された地震動分布に対してフラジリティ曲線を適用することで被害を予測した。

シナリオベースのリスク評価の基本的な流れを図 3.2.2-1 に示す。

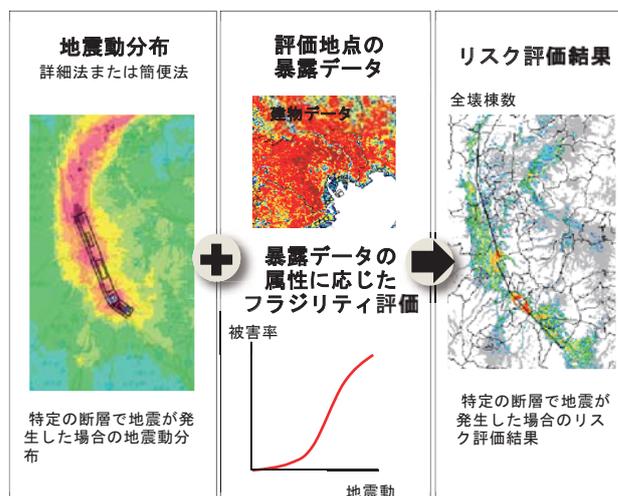


図 3.2.2-1 シナリオベースのリスク評価の基本的な流れ

3.3 被害予測手法の検討

全国概観版地震リスク評価では、建物被害(建物全壊棟数・全半壊棟数)、建物損失額、人的被害(死者数・重傷者数)を対象とする。リスク評価のためには、評価対象のハザードに対する脆弱性評価が必要で、一般に、ハザードと被害の関係を示す被害関数として示されている。本項では、リスク評価に利用する被害予測手法について検討する。

3.3.1 建物被害予測手法の検討

(1) 検討方針

建物被害は人命に大きく影響し、財産の喪失、避難者の発生にも直結することからリスク評価の中でも特に重要である。そのため、建物のリスク評価の精度はできる限り高くすることが望ましい。その一方で、全国を網羅する手法としては膨大な計算量により被害関数のような単純な手法を採用せざるを得ない。そこで、全国概観版リスク評価に用いる建物の被害関数の選定を行うため、地震動の観測記録が数多く存在する 1995 年兵庫県南部地震以降の被害地震を対象に既往の被害関数の予測精度の検証を行った上で、建物被害予測に用いる被害関数を選定した。具体的な検討手順は下記の通りである。

- ① 250 m メッシュ別住宅建物データを住宅・土地統計調査および国勢調査地域統計メッシュ等から作成する。
- ② 複数の被害地震を対象に観測記録および断層形状モデルを用いて、空間補間法により表層地盤の影響を考慮した250 m メッシュ別地震動分布を推定する。
- ③ 検討対象とする木造建物被害予測手法を用いて、住宅建物分布と地震動分布から250 m メッシュ単位で木造住宅の全壊棟数、全半壊棟数を予測し、それらを集計して地震全体の木造住宅被害棟数を予測する。
- ④ 実際の住家被害は木造住宅の被害がほとんどを占めることから、消防庁の災害情報による住家被害の全壊棟数、全半壊棟数と予測した木造住宅被害棟数を地震ごとに比較し、全体的に最も整合する手法を全国概観版地震リスクに適用する木造建物被害予測手法として採用する。

(2) 住宅建物データの作成

建物被害予測手法の検討に用いる住宅建物データを作成した。本データは地震動分布の予測単位と合わせるため250 m メッシュ単位とするとともに、「構造」「建築年代区分」の属性を保有するデータとした。住宅建物データの作成手順は以下の通りである。

- ① 住宅・土地統計調査から市区町村別構造別建築年代区分別住宅数データを作成する。
- ② 住宅・土地統計調査にない町村のデータは、住宅・土地統計調査の住宅数データと直前の国勢調査の世帯数データを利用し住宅数を推定する。
- ③ ①②で作成した市区町村別住宅数データを国勢調査地域メッシュ統計の重みを利用してメッシュに配分する。メッシュサイズは1990年国勢調査地域メッシュ統計を利用する場合は旧日本測地系基準地域メッシュ(以降、「1 km メッシュ」と称す)を、1995年以降の国勢調査地域メッシュ統計を利用する場合は世界測地系2分の1地域メッシュ(以降、「500 m メッシュ」と称す)を用いる。
- ④ 住宅・土地統計調査の住宅棟数データを利用し、③で作成した1 km または500 m メッシュ単位の住宅数データを住宅棟数に変換する。
- ⑤ ④で作成した1 km または500 m メッシュ単位

の住宅棟数データを250 m メッシュに配分する。配分の際は、旧日本測地系の住宅棟数データは大井ほか(2010)、世界測地系の住宅棟数データは中村ほか(2015)の250 m メッシュ別建物データの建物棟数の重みを利用する。

以降では、各手順の詳細とその作成状況について示す。

(a) 住宅・土地統計調査に基づく市区町村別構造別建築年代区分別住宅数データの作成

住宅・土地統計調査から市区町村別構造別建築年代別住宅数データを作成した。被害予測手法の検証にあたっては、1995年兵庫県南部地震以降の被害地震を対象とするため、ここでは、1993年以降の住宅・土地統計調査を対象に住宅建物データを作成することとした。なお、住宅・土地統計調査のデータは「e-Stat 政府統計の総合窓口」よりダウンロードした(表3.3.1-1参照)。e-Statよりダウンロードしたデータを利用し市区町村別構造別建築年代区分別住宅数データを作成した。

表3.3.1-1 住宅建物棟数データ作成のために e-Stat からダウンロードしたデータ一覧(1)

統計名	データ単位	表番号	表題
1993年住宅統計調査 都道府県編	住宅数	00702	建物の構造(3)、建築の時期(8)、住宅数、市区町村(1003)
1998年住宅・土地統計調査 都道府県編	住宅数	00702	建物の構造(3)、建築の時期(6)、住宅数、市(671)・13大都市の区(151)・一定規模以上の町村(208)
2003年住宅・土地統計調査 都道府県編	住宅数	00902	建築の時期(8区分)、建物の構造(5区分)、住宅数、市区
	住宅数	01002	建築の時期(6区分)、建物の構造(5区分)、住宅数、町村
2008年住宅・土地統計調査 都道府県編	住宅数	006-2	住宅の種類(2種類)、構造(5区分)、建築の時期(8区分)別住宅数—市区
	住宅数	007-2	住宅の種類(2種類)、構造(5区分)、建築の時期(6区分)別住宅数—町村
2013年住宅・土地統計調査 確報集計	住宅数	7-2	構造(5区分)、建築の時期(9区分)別住宅数—市区
	住宅数	8-2	構造(5区分)、建築の時期(7区分)別住宅数—町村

(b) 住宅・土地統計調査にない町村の構造別建築年代区分別住宅数データの作成

住宅・土地統計調査にない町村の住宅数は、住宅・土地統計調査にない町村の構造別建築年代別住宅数を国勢調査の世帯数を利用して推定した。具体的な作成手順は以下の通りである。

- ① (a) で利用した市区町村別構造別建築年代区分別住宅数データを都道府県毎に集計する。
- ② e-Statよりダウンロードした都道府県別構造別建て方別建築年代区分別住宅数データ(表3.3.1-2参照)と①のデータから、都道府県毎に住宅・土地統計調査にない町村全体の構造別建築年代区分別住宅数を推定する。

③ 住宅・土地統計調査が行われる直前の国勢調査の一般世帯数を重みとし、②の構造別建築年代区分別住宅数を各町村に配分した。国勢調査から設定した重みは、全ての構造・建築年代区分で共通とした。なお、住宅・土地統計調査の各調査年に用いた国勢調査データを表 3.3.1-3 に示した。

表 3.3.1-2 住宅建物棟数データ作成のために e-Stat からダウンロードしたデータ一覧(2)

統計名	データ単位	表番号	表題
1993年住宅統計調査 都道府県編	住宅数	009	建物の構造(5)、建築の時期(13)、住宅の建て方(4)、階数(4)、住宅数、都道府県(47)、市部(47)、13大都市(13)、人口集中地区(2)
1998年住宅・土地統計調査 都道府県編	住宅数	009	建物の構造(5)、建築の時期(12)、住宅の建て方(4)、建物の階数(5)、住宅数、都道府県(47)・市部(47)・13大都市(13)、人口集中地区(2)
2003年住宅・土地統計調査 都道府県編	住宅数	01100	建物の構造(5区分)、建築の時期(13区分)、住宅の建て方・建物の構造・階数(16区分)、住宅数、都道府県(47)、市部(47)、14大都市(14)、人口集中地区(2)
2008年住宅・土地統計調査 都道府県編	住宅数	008	住宅の建て方(4区分)、構造(5区分)、階数(9区分)、建築の時期(13区分)別住宅数—都道府県、18大都市
2013年住宅・土地統計調査 確報集計	住宅数	6	住宅の種類(2区分)、構造(5区分)、建築の時期(14区分)別住宅数—全国、大都市圏、距離帯、都市圏、都道府県、21大都市

表 3.3.1-3 各住宅建物データに用いた住宅・土地統計調査や国勢調査の調査年

1993年住宅建物データ	1993年住宅統計調査	—	1990年国勢調査
1998年住宅建物データ	1998年住宅・土地統計調査	—	1995年国勢調査
2003年住宅建物データ	2003年住宅・土地統計調査	—	2000年国勢調査
2008年住宅建物データ	2008年住宅・土地統計調査	—	2005年国勢調査
2013年住宅建物データ	2013年住宅・土地統計調査	—	2010年国勢調査

(c) 市区町村別住宅数データのメッシュへの配分(1)

市区町村別住宅数データをメッシュに配分する際は、国勢調査地域メッシュ統計の一般世帯数を重みとして利用し、各メッシュへ配分した。なお、国勢調査地域メッシュ統計は調査年によりメッシュサイズや測地系が異なっているが、測地系に関しては世界測地系を優先的に利用し、世界測地系のない調査年のみ旧日本測地系のデータを利用した。メッシュサイズは、各調査年において全国網羅的に整備された最小のメッシュサイズを利用することとした。本計算において用いたメッシュサイズや測地系を表 3.3.1-4 に示す。

表 3.3.1-4 重みの設定に用いたメッシュ統計の測地系とメッシュサイズ

	重みの設定に用いるメッシュ統計	測地系	メッシュサイズ
1993年住宅統計調査	1990年国勢調査地域メッシュ統計	旧日本測地系	1km
1998年住宅・土地統計調査	1995年国勢調査地域メッシュ統計	世界測地系	500m
2003年住宅・土地統計調査	2000年国勢調査地域メッシュ統計	世界測地系	500m
2008年住宅・土地統計調査	2005年国勢調査地域メッシュ統計	世界測地系	500m
2013年住宅・土地統計調査	2010年国勢調査地域メッシュ統計	世界測地系	500m

(d) 住宅数から住宅棟数への変換

(c) で作成したメッシュ別構造別建築年代区分別住宅数データを住宅棟数データへ変換する。住宅数から住宅棟数への変換は、住宅・土地統計調査から設定した構造別建築年代区分別1住宅あたりの住宅棟数を利用し変換した。住宅・土地統計調査の調査年毎の住宅数から住宅棟数への変換手順を図 3.3.1-1・図 3.3.1-2 に示した。また、変換にあたり e-Stat よりダウンロードしたデータを表 3.3.1-5 に示した。

表 3.3.1-5 住宅建物棟数データ作成のために e-Stat からダウンロードしたデータ一覧(3)

統計名	データ単位	表番号	表題
1993年住宅統計調査 都道府県編	住宅数	009	建物の構造(5)、建築の時期(13)、住宅の建て方(4)、階数(4)、住宅数、都道府県(47)、市部(47)、13大都市(13)、人口集中地区(2)
	棟数	065	建物の用途(3)、建物の構造(2)、建て方(4)、階数(4)、むね数、都道府県(47)、市部(47)、13大都市(13)、人口集中地区(2)
1998年住宅・土地統計調査 都道府県編	住宅数	009	建物の構造(5)、建築の時期(12)、住宅の建て方(4)、建物の階数(5)、住宅数、都道府県(47)・市部(47)・13大都市(13)、人口集中地区(2)
	棟数	060	建物の用途(3)、建物の構造(2)、住宅の建て方(4)、建物の階数(5)、むね数(高齢者対応型共同住宅のむね数—特掲)、都道府県(47)・市部(47)・13大都市(13)、人口集中地区(2)
2003年住宅・土地統計調査 都道府県編	住宅数	01100	建物の構造(5区分)、建築の時期(13区分)、住宅の建て方・建物の構造・階数(16区分)、住宅数、都道府県(47)、市部(47)、14大都市(14)、人口集中地区(2)
	棟数	08800	建物の構造(2区分)、住宅の建て方・建物の構造・階数(14区分)、住宅むね数、都道府県(47)、市部(47)、14大都市(14)、人口集中地区(2)
2008年住宅・土地統計調査 都道府県編	住宅数	008	住宅の建て方(4区分)、構造(5区分)、階数(9区分)、建築の時期(13区分)別住宅数—都道府県、18大都市
	棟数	055	住宅の建て方(5区分)、構造(2区分)、階数(10区分)別むね数(高齢者対応型共同住宅のむね数—特掲)—都道府県、18大都市
2013年住宅・土地統計調査 確報集計	住宅数	18	住宅の所有の関係(2区分)、構造(5区分)、建築の時期(7区分)、建て方(4区分)、階数(4区分)別住宅数—全国、都道府県、21大都市
	棟数	67	住宅の建て方(5区分)、構造(2区分)、階数(10区分)別むね数(高齢者対応型共同住宅のむね数—特掲)—距離帯、都市圏、都道府県、21大都市

(e) 市区町村別住宅数データのメッシュへの配分(2)

(d) で作成したメッシュ別構造別建築年代区分別住宅棟数データを250 mメッシュへ配分する。配分の際は、旧日本測地系の住宅棟数データは大井ほか(1999)、世界測地系の住宅棟数データは中村ほか(2015)の250 mメッシュ別建物データの建物棟数の重みを利用した。なお、250 mメッシュ別構造別建築年代区分別住宅棟数データの構造別全国集計値が、住宅土地統計調査の構造別住宅棟数と一致するように全国一律の値で補正を行った。作成した250 mメッシュ別構造別建築年代区分別住宅棟数データを以下に示す内容の図表で示した。なお、1993年の住宅建物データは、手順(d)の旧日本測地系の1 km

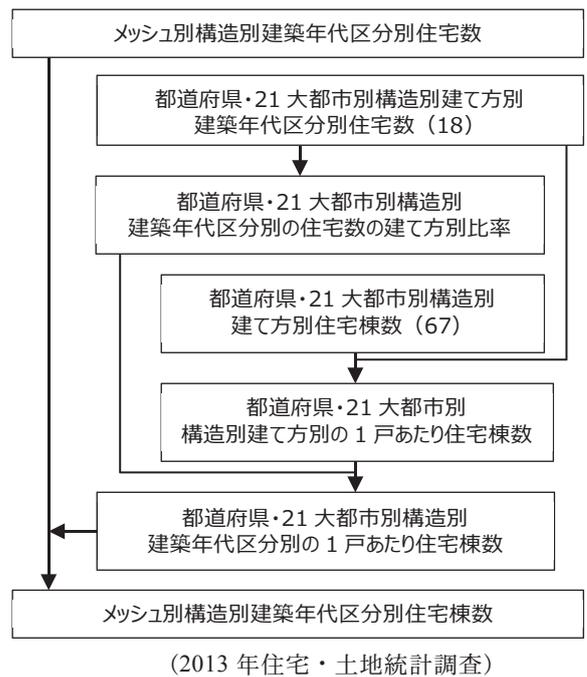
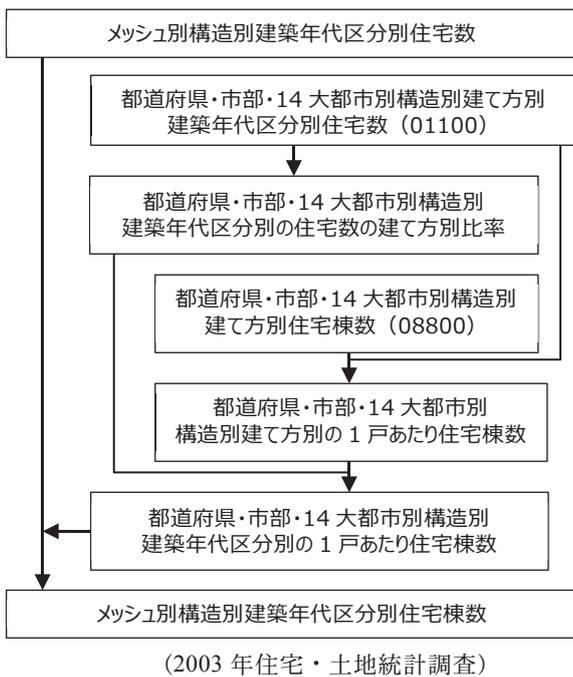
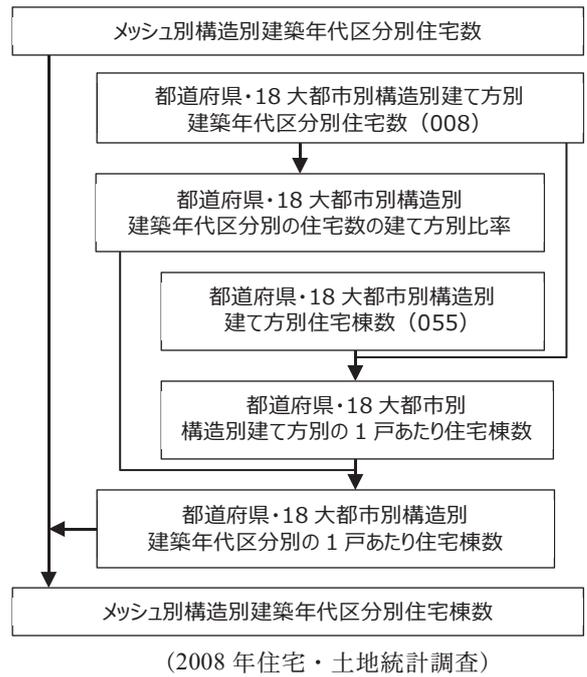
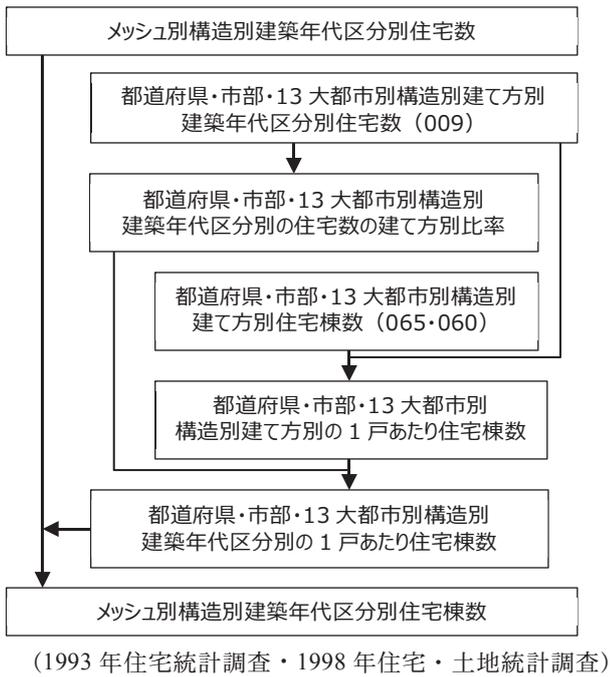


図 3.3.1-1 住宅数から住宅棟数への変換手順(1)
※図中の()は表 3.3.1-5 の表番号を示す。

図 3.3.1-2 住宅数から住宅棟数への変換手順(2)
※図中の()は表 3.3.1-5 の表番号を示す。

メッシュ別データまで作成しているが、被害予測手法の検討を行う際の地震動や被害の分布は全て世界測地系で行うため、一度、旧日本測地系の250 mメッシュへ配分した後、旧日本測地系メッシュの中心点の緯度経度を世界測地系へ変換し、世界測地系250 mメッシュのデータとした。なお、測地系変換の際、棟数データは全てメッシュ中心点のデータと考え、測地系変換に伴う棟数の再集計は行っていない。

- 図 3.3.1-3 1993 年の住宅建物棟数分布
- 図 3.3.1-4 1993 年の 1980 年以前築住宅建物棟数の割合
- 図 3.3.1-5 1998 年の住宅建物棟数分布
- 図 3.3.1-6 1998 年の 1980 年以前築住宅建物棟数の割合
- 図 3.3.1-7 2003 年の住宅建物棟数分布
- 図 3.3.1-8 2003 年の 1980 年以前築住宅建物棟数の割合
- 図 3.3.1-9 2008 年の住宅建物棟数分布
- 図 3.3.1-10 2008 年の 1980 年以前築住宅建物棟数の割合
- 図 3.3.1-11 2013 年の住宅建物棟数分布
- 図 3.3.1-12 2013 年の 1980 年以前築住宅建物棟数の割合
- 表 3.3.1-6 作成した住宅建物データの全国集計値

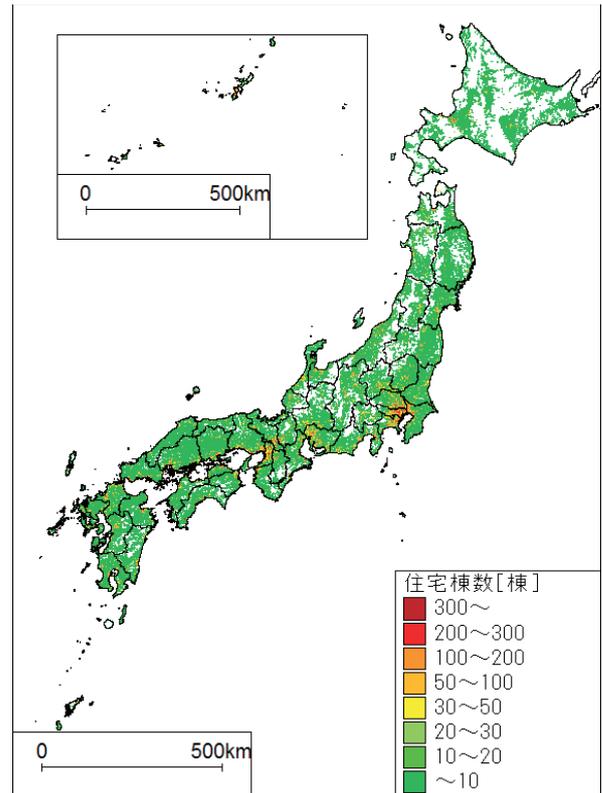


図 3.3.1-3 1993 年の住宅建物棟数分布

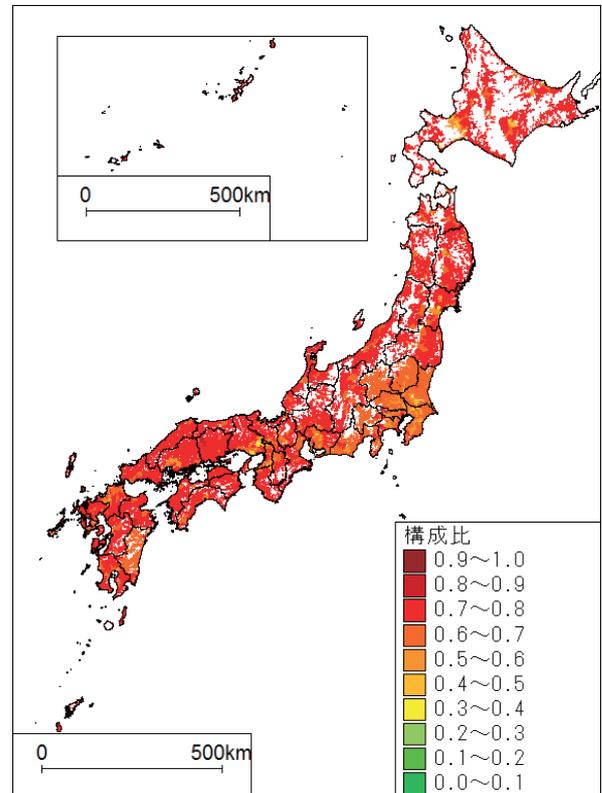


図 3.3.1-4 1993 年の 1980 年以前築住宅建物棟数の割合

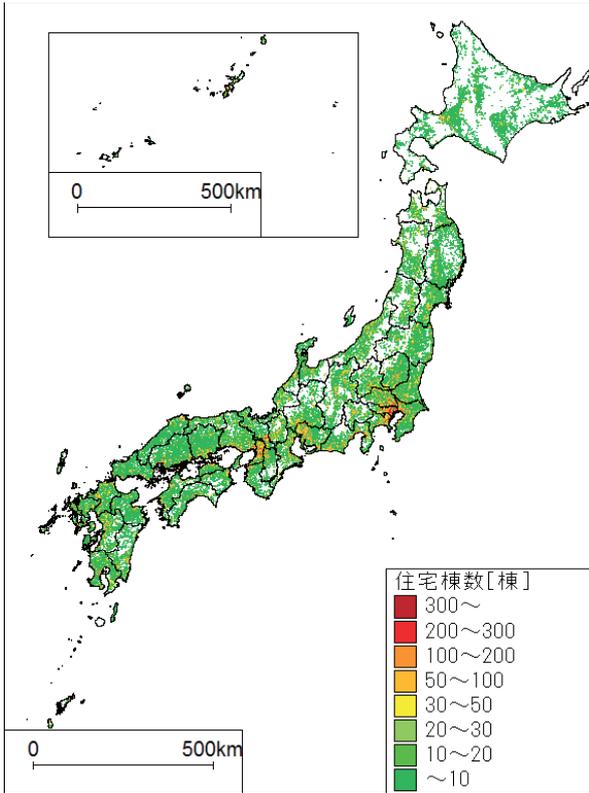


図 3.3.1-5 1998年の住宅建物棟数分布

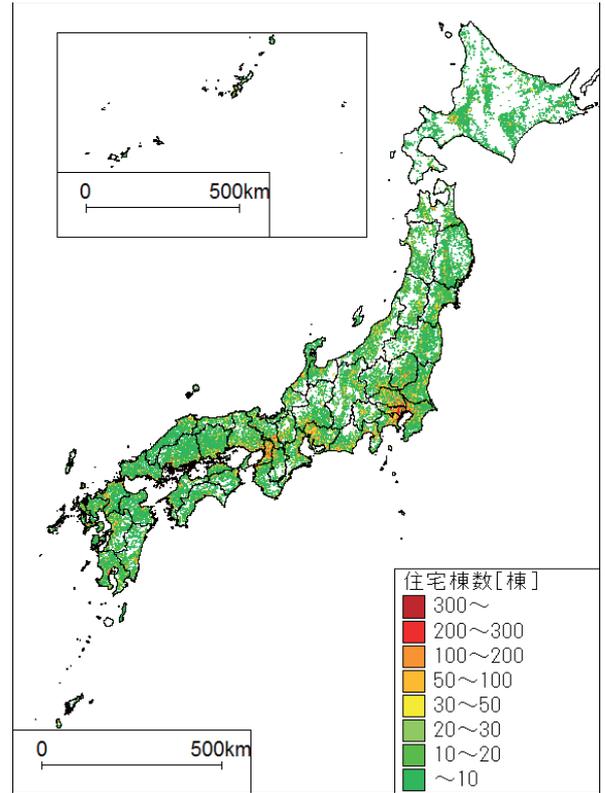


図 3.3.1-7 2003年の住宅建物棟数分布

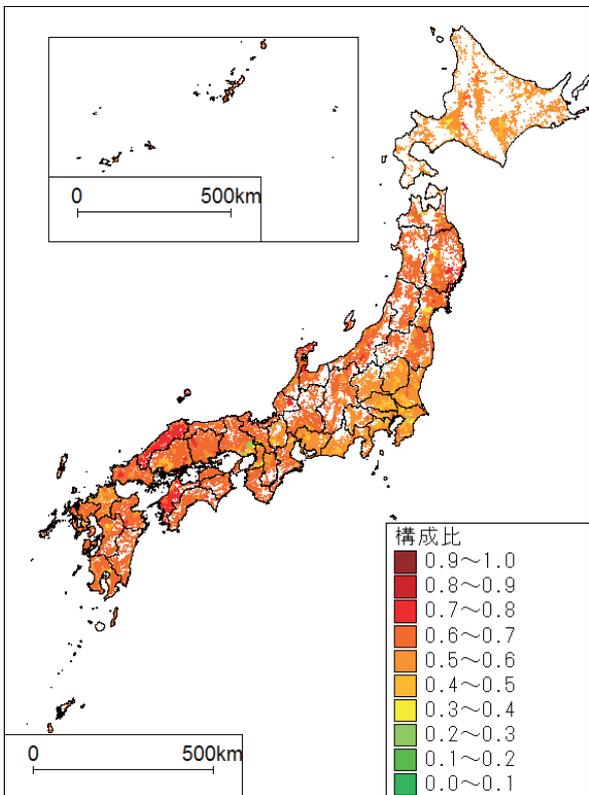


図 3.3.1-6 1998年の1980年以前築住宅建物棟数の割合

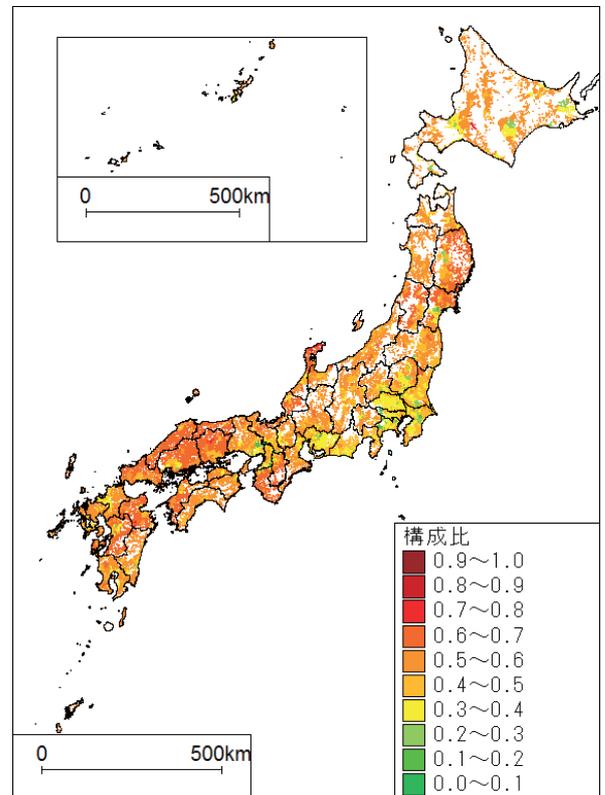


図 3.3.1-8 2003年の1980年以前築住宅建物棟数の割合

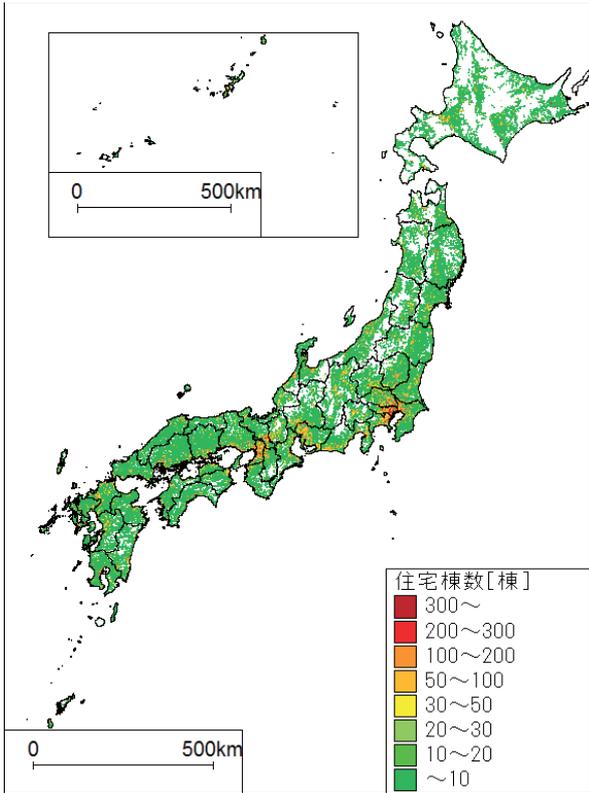


図 3.3.1-9 2008 年の住宅建物棟数分布

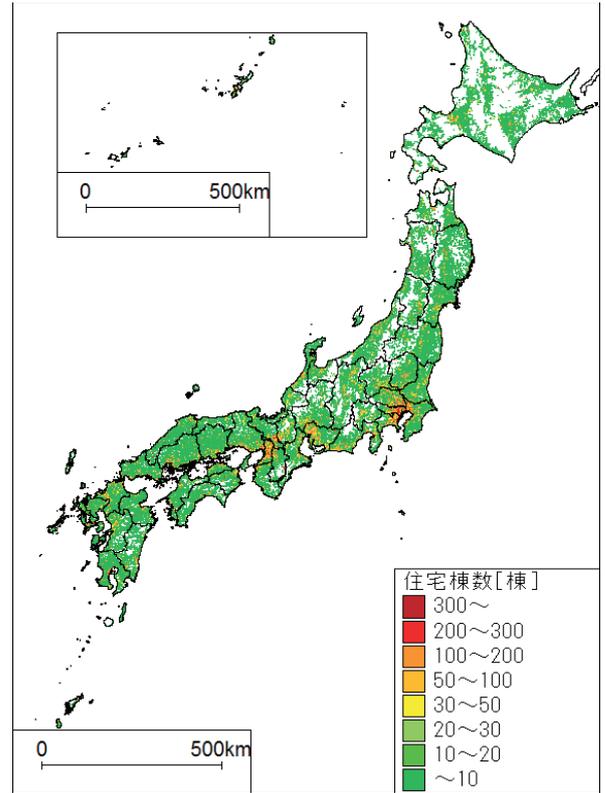


図 3.3.1-11 2013 年の住宅建物棟数分布

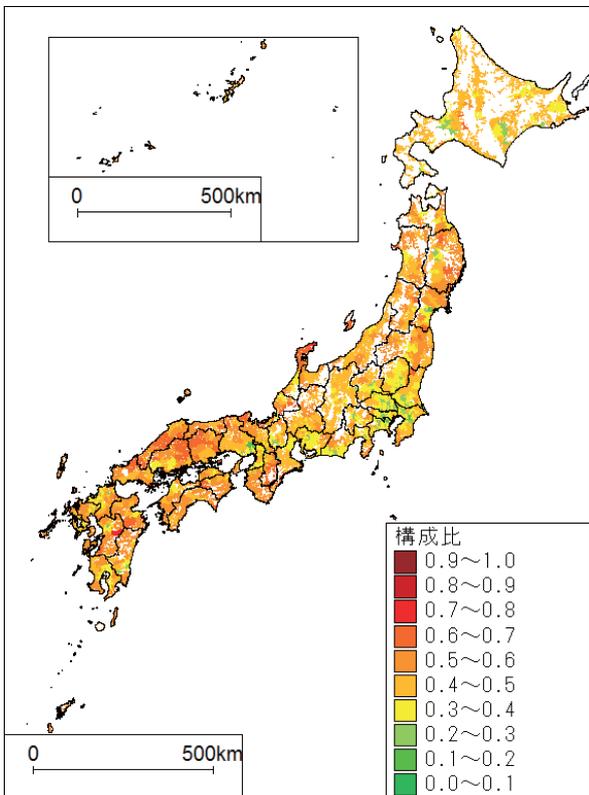


図 3.3.1-10 2008 年の 1980 年以前築住宅建物棟数の割合

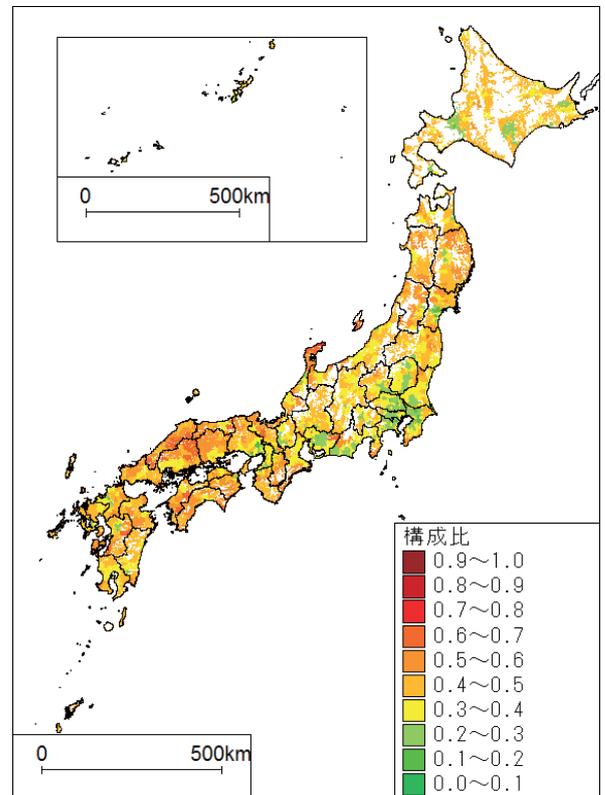


図 3.3.1-12 2013 年の 1980 年以前築住宅建物棟数の割合

表 3.3.1-6 作成した住宅建物データの全国集計値

	全住宅棟数	木造	非木造	1980年以前 築棟数	1980年以 前築割合
1993年	28,690,600	25,938,600	2,752,000	19,266,082	67.2%
1998年	30,256,101	27,000,500	3,255,600	17,039,917	56.3%
2003年	31,640,800	28,019,800	3,621,000	14,391,376	45.5%
2008年	33,025,000	29,172,200	3,852,800	13,536,008	41.0%
2013年	34,689,400	30,536,500	4,152,900	12,413,916	35.8%

(3) 検討対象の地震

被災地周辺で十分な観測記録が得られた1995年兵庫県南部地震以降の被害地震を対象とした(表 3.3.1-7 参照)。以降では、空間補間に利用したデータ、補間方法、補間した結果得られた地震動分布を示す。

表 3.3.1-7 検討に用いた地震と震源断層モデル

No	発生日月 (yy/mm/dd)	地震名	Mw	セグメント数	断層基準位置 [deg]		上端深さ [km]	長さ [km]	幅 [km]	走向 [deg]	傾斜 [deg]	参考文献
					経度	緯度						
1	1995/01/17	兵庫県南部地震	6.9	3	134.86	34.50	3.0	21.0	17.5	45	82	地震予知総合 研究振興会(1999)
					135.14	34.68	3.0	15.0	17.5	233	90	
					135.36	34.80	3.0	24.0	17.5	233	85	
2	2000/10/06	鳥取県西部地震	6.8	1	133.30	35.35	1.0	20.0	10.0	152	86	国土地理院(2000)
3	2001/03/24	釜予地震	6.8	1	132.65	34.10	43.0	20.0	10.0	156	52	国土地理院(2001)
4	2003/05/26	宮城県沖地震	7.0	1	141.81	38.94	52.0	17.0	19.0	192	68	国土地理院(2003a)
5	2003/07/26	宮城県北部の地震	6.1	1	141.17	38.41	3.7	13.6	5.1	11	70	国土地理院(2003b)
6	2003/09/26	十勝沖地震	8.0	1	144.55	42.12	19.7	85.7	83.0	231	22	国土地理院(2003c)
7	2004/10/23	新潟県中越地震	6.7	1	138.96	37.40	2.8	20.6	10.2	210	53	国土地理院(2004)
8	2005/03/20	福岡県西方沖地震	6.5	1	130.30	33.68	0.0	23.9	16.3	301	85	国土地理院(2005)
9	2007/03/25	能登半島地震	6.6	1	136.55	37.19	1.2	21.2	13.9	55	63	国土地理院(2007a)
10	2007/07/16	新潟県中越沖地震	6.7	2	138.36	37.41	2.0	27.0	14.0	40	40	国土地理院(2007b)
					138.65	37.50	4.0	10.0	12.0	220	50	
11	2008/06/14	岩手・宮城内陸地震	7.0	1	140.93	39.05	0.4	20.0	12.0	198	31	国土地理院(2008)
12	2009/08/11	駿河湾の地震	6.3	1	138.50	34.78	17.5	16.7	5.6	309	38	国土地理院(2009)
					144.00	38.80	5.1	186.0	129.0	203	16	
13	2011/03/11	東北地方太平洋沖地震	9.0	2	142.80	37.33	17.0	194.0	88.0	203	15	国土地理院(2011)
14	2014/11/22	長野県北部の地震	6.3	2	137.85	36.65	0.0	20.0	3.1	22	40	先來(2014)
					137.88	36.64	2.0	20.0	20.1	22	60	
					131.00	32.88	0.6	20.0	12.5	235	60	
15	2016/04/16	熊本地震	7.0	3	130.98	32.88	0.2	5.1	6.6	56	62	国土地理院(2016)
					130.81	32.77	0.8	10.2	13.0	205	72	

a) 予測範囲と予測単位

予測範囲は断層最短距離の100~300km以内の範囲とした。予測単位は250mメッシュとした。

b) 表層地盤データ

Wakamatsu and Matsuoka (2013)による微地形区分から推定した250mメッシュ別のAVS30のデータを利用した。

c) 断層パラメータ

表 3.3.1-7 に示した断層パラメータを利用した。

d) 地震動予測方法

地震動の予測は地表面の観測記録から空間補間により各メッシュの地震動を推定した。補間にあたっては、地表面の観測記録から工学的基盤面(Vs=600m/s相当)の地震動を推定した上で、工学的基盤面上で補間を行った。その後、工学的基盤上の補間結果と表

層地盤データから地表面の地震動を面的に推定した。以下では、工学的基盤上で空間補間を行うために利用したデータや計算方法を項目毎に示す。

利用した観測記録

空間補間に利用した観測記録は表 3.3.1-8 に示す通りである。なお、表 3.3.1-8 にある JR 東日本の観測記録は土木学会の観測地震記録ダウンロードサイトより入手し、観測地点の特定できた記録のみを利用した。

表 3.3.1-8 検討に用いた観測記録

No	発生日月 (yy/mm/dd)	地震名	Mw	K-NET KiK-net	気象庁 自治体	その他	その他の詳細
1	1995/01/17	兵庫県南部地震	6.9		○	○	日本建築学会兵庫県南部地震特別研究委員会・ 日本建築学会近畿支部耐震構造研究部会(1996)・ 関西地震観測研究協議会(2004)
2	2000/10/06	鳥取県西部地震	6.8	○	○		
3	2001/03/24	釜予地震	6.8	○	○		
4	2003/05/26	宮城県沖地震	7.0	○	○		
5	2003/07/26	宮城県北部の地震	6.1	○	○		
6	2003/09/26	十勝沖地震	8.0	○	○		
7	2004/10/23	新潟県中越地震	6.7	○	○	○	JR 東日本
8	2005/03/20	福岡県西方沖地震	6.5	○	○		
9	2007/03/25	能登半島地震	6.6	○	○		
10	2007/07/16	新潟県中越沖地震	6.7	○	○		
11	2008/06/14	岩手・宮城内陸地震	7.0	○	○		
12	2009/08/11	駿河湾の地震	6.3	○	○		
13	2011/03/11	東北地方太平洋沖地震	9.0	○	○	○	JR 東日本、 東北工業大学・リアルタイム強震観測センター (Small-Titan)
14	2014/11/22	長野県北部の地震	6.3	○	○		
15	2016/04/16	熊本地震	7.0	○	○		

観測点における工学的基盤上の地震動の推定

観測した地表の地震動を工学的基盤面に戻す際は AVS30 または AVS20 から求まる地盤増幅度(amp)を利用した(最大速度:藤本・翠川(2006), 計測震度:末富ほか(2005))。

- 最大速度

$$\log(amp) = 2.367 - 0.852 \log AVS30 \quad (3.3.1-1)$$

ここで、AVS30: 深さ30mまでの平均S波速度[m/s]

- 計測震度

$$amp = 2.699 - \log(AVS20) \quad (3.3.1-2)$$

$$SIJ1 = 2.25 \log(AVS20) + 0.8 \quad (3.3.1-3)$$

$$SIJ2 = 2.4 \log(AVS20) + 1.15 \quad (3.3.1-4)$$

$$SIJ3 = 2.0 \log(AVS20) + 2.20 \quad (3.3.1-5)$$

- SIJ ≤ SIJ1 + amp の場合

$$BIJ = SIJ - amp \quad (3.3.1-6)$$

- SIJ ≥ SIJ3 の場合

$$BIJ = SIJ2 \quad (3.3.1-7)$$

- SIJ1 + amp < SIJ < SIJ3 の場合

$$abt = (amp - SIJ3 + SIJ2) / (SIJ2 - SIJ1) \quad (3.3.1-8)$$

$$BIJ = (SIJ - amp - abt \times SIJ1) / (1 - abt) \quad (3.3.1-9)$$

ここで、

SIJ: 地表の震度, BIJ: 基盤の震度,

AVS20: 深さ20mまでの平均S波速度[m/s]

各観測点の AVS30 または AVS20 の設定方法は以下の通りである。

- ① 深度 30 m 以上の S 波速度構造が把握されている場合は、そのまま AVS30 または AVS20 を計算した。
- ② 深度 30 m 未満で藤本・翠川 (2003) (表 3.3.1-9 参照) の条件を満たす地点は、最下層の深度から深度 30 m まで、最下層の S 波速度が続いていると仮定して AVS30 または AVS20 を計算した。
- ③ ②の条件を満たさない地点のうち深さ 20m まで S 波構造が把握されている地点の AVS30 については、Kanno *et al.* (2006) による AVS20 と AVS30 の関係式から推定した。

$$AVS30 = 1.13 \times AVS20 + 19.5 \quad (3.3.1-10)$$

- ④ 深度 20 m まで S 波構造が把握されていない場合は、観測点上の Wakamatsu and Matsuoka (2013) による微地形区分から推定した AVS30 を利用した。

表 3.3.1-9 掘進長 30 m 未満のボーリングにおいて AVS30 算定可能な地盤条件

最下層までの深さ[m]	10.0～	15.0～	17.5～	20.0～	22.5～	25.0～	27.5～
最下層のS波速度[m/s]	>1000	>500	>400	>350	>250	>200	>100

工学的基盤上での空間補間

各観測点の基盤地震動から、空間補間により各メッシュの基盤地震動を推定した。空間補間の方法は、観測点が存在しない断層近傍でも地震動が大きくなるように、観測点の基盤地震動より最小 2 乗法で推定した式 (3.3.1-11) (3.3.1-12) による距離減衰式をトレンド成分とした simple Kriging 法を用いた。その際、相関距離 (自己相関がなくなる距離の値) は 20 km として計算した。なお、simple Kriging 法の計算プログラムは、防災科学技術研究所川崎ラボラトリー (2007) より公開された "rasmo" (前述の条件で計算できるように一部コードを修正) を使用した。なお、工学的基盤上の空間補間は 1 km メッシュ単位で実施した。

- 最大速度

$$\log PGV_{b600} = a - \log (X + 0.0028 \times 10^{0.50M_w}) - b \cdot X \quad (3.3.1-11)$$

ここで、

$\log PGV_{b600}$: 工学的基盤面上の最大速度 [m/s],

M_w : モーメント・マグニチュード,

X : 断層最短距離 [km],

a, b : 回帰係数

- 計測震度

$$BIJ = a - 1.89 \times \log (X + 0.0060 \times 10^{0.50M_w}) - b \cdot X \quad (3.3.1-12)$$

ここで、

BIJ : 工学的基盤面上の計測震度,

M_w : モーメント・マグニチュード,

X : 断層最短距離 [km],

a, b : 回帰係数

地表面上の地震動の推定

工学的基盤面の地震動推定値と各メッシュの地盤増幅率 (*amp*) から地表面の地震動を推定した。最大速度は藤本・翠川 (2006), 計測震度は末富ほか (2005) を利用した。

- 最大速度

$$\log (amp) = 2.367 - 0.852 \log AVS30 \quad (3.3.1-13)$$

ここで、AVS30: 深さ 30 m までの平均 S 波速度 [m/s]

- 計測震度

$$amp = 2.699 - \log (AVS20) \quad (3.3.1-14)$$

$$SIJ1 = 2.25 \log (AVS20) + 0.8 \quad (3.3.1-15)$$

$$SIJ2 = 2.4 \log (AVS20) + 1.15 \quad (3.3.1-16)$$

$$SIJ3 = 2.0 \log (AVS20) + 2.20 \quad (3.3.1-17)$$

- BIJ ≤ SIJ1 の場合

$$SIJ = BIJ + amp \quad (3.3.1-18)$$

- BIJ ≥ SIJ2 の場合

$$SIJ = SIJ3 \quad (3.3.1-19)$$

- SIJ1 < BIJ < SIJ2 の場合

$$abt = (amp - SIJ3 + SIJ2) / (SIJ2 - SIJ1) \quad (3.3.1-20)$$

$$amp2 = amp - abt \times (BIJ - SIJ1) \quad (3.3.1-21)$$

$$SIJ = BIJ + amp2 \quad (3.3.1-22)$$

ここで、

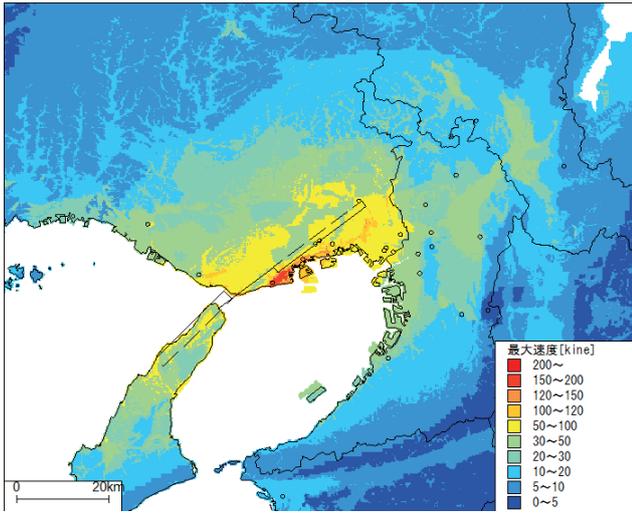
SIJ : 地表の震度,

BIJ : 基盤の震度,

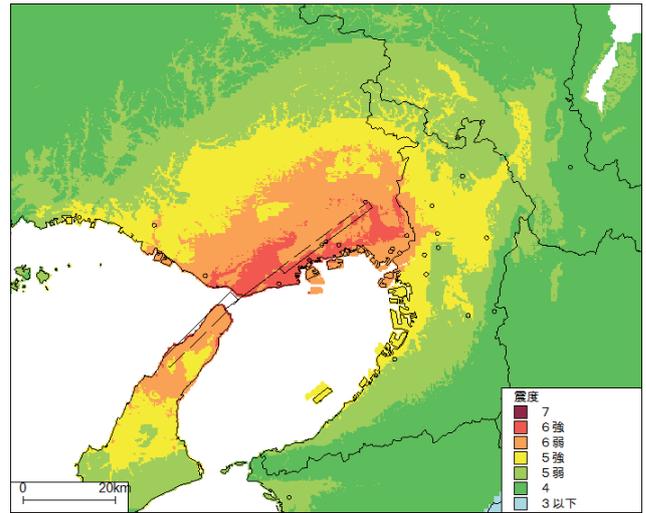
AVS20 : 深さ 20 m までの平均 S 波速度 [m/s]

地震動の推定結果

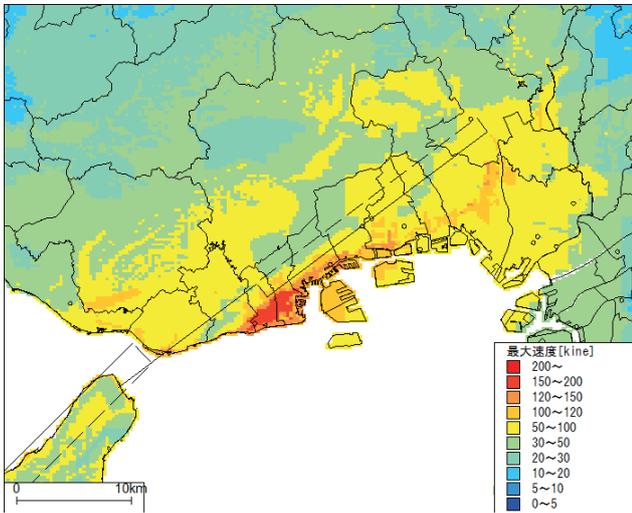
以上のデータおよび手法により推定した 15 地震の 250 m メッシュ毎の地表最大速度、計測震度を図 3.3.1-13 ~ 図 3.3.1-27 に示した。



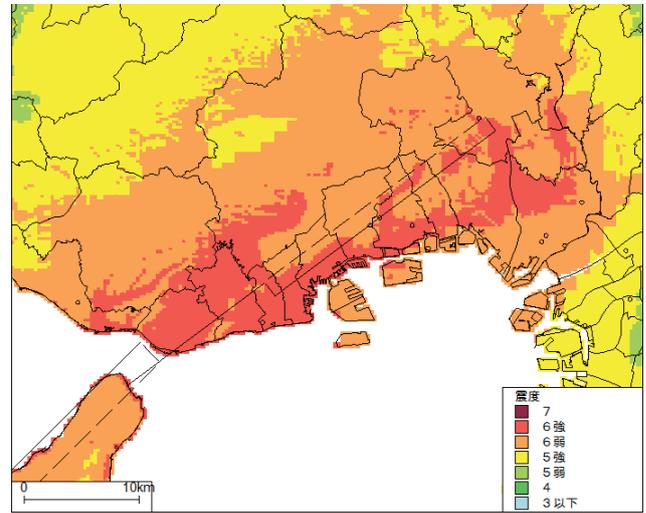
(最大速度: 全域)



(計測震度: 全域)

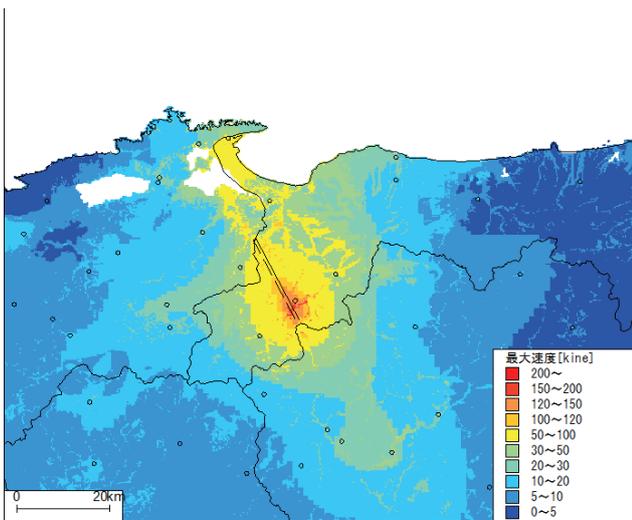


(最大速度: 神戸周辺)

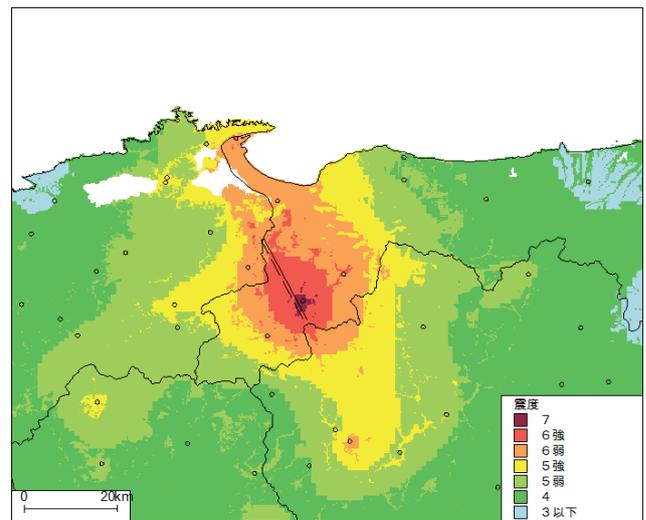


(計測震度: 神戸周辺)

図 3.3.1-13 1995 年兵庫県南部地震の地震動分布



(最大速度)



(計測震度)

図 3.3.1-14 2000 年鳥取県西部地震の地震動分布

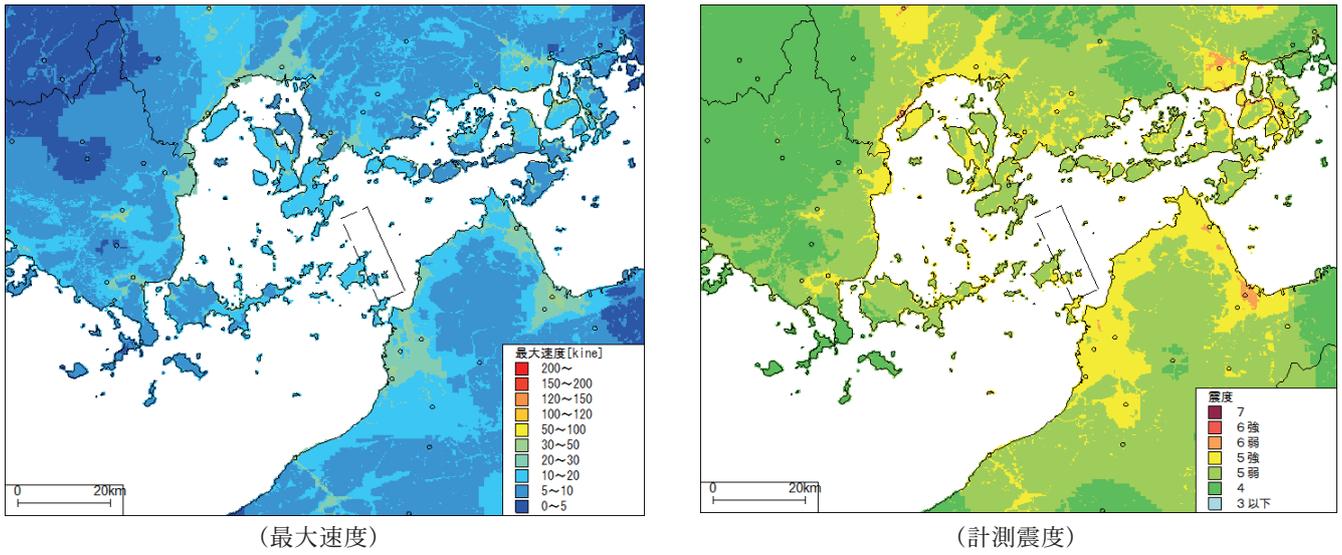


図 3.3.1-15 2001 年芸予地震の地震動分布

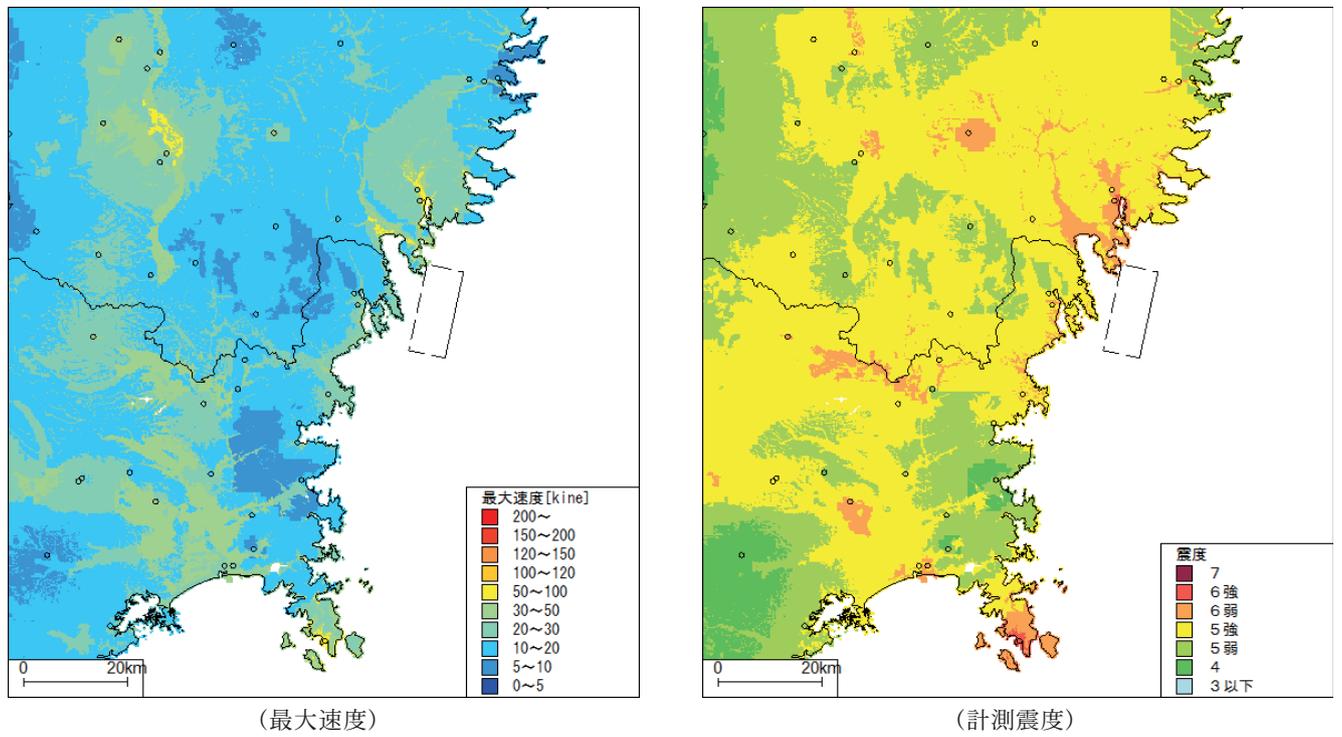


図 3.3.1-16 2003 年宮城県沖の地震の地震動分布

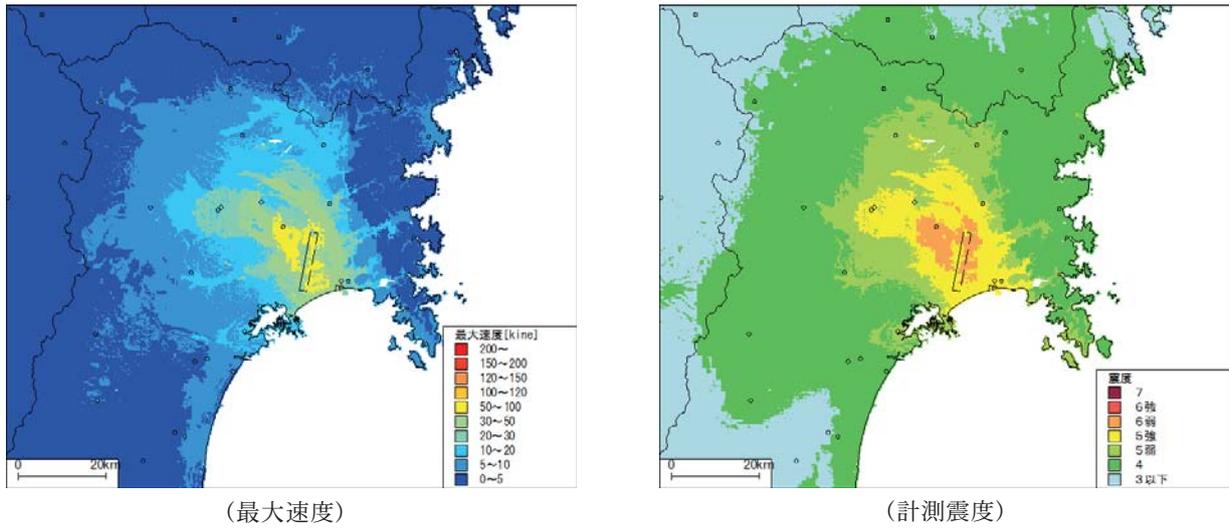


図 3.3.1-17 2003 年宮城県北部の地震の地震動分布

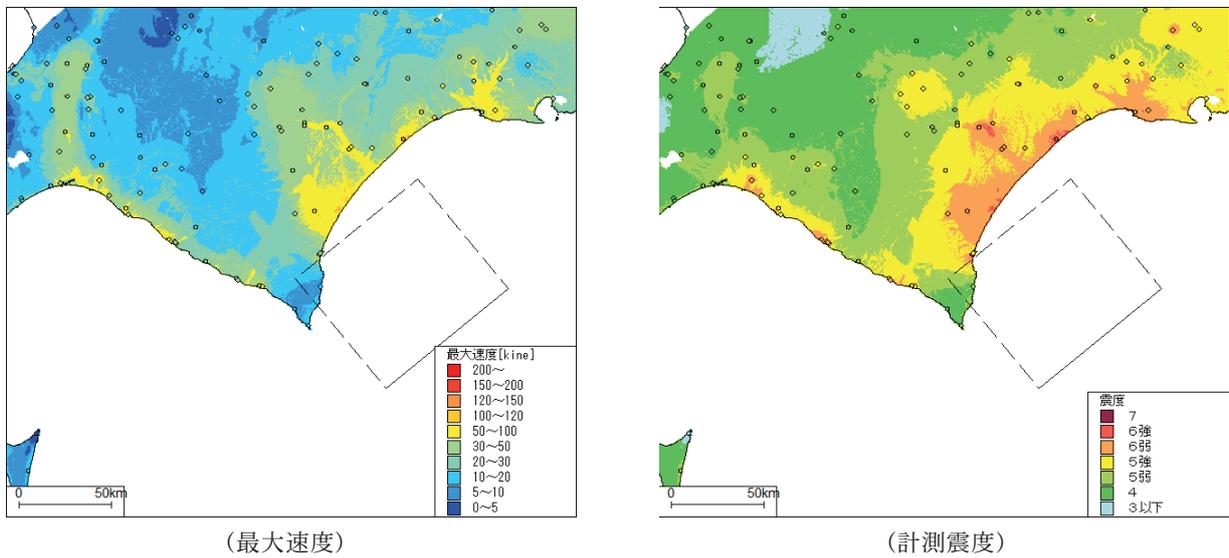


図 3.3.1-18 2003 年十勝沖地震の地震動分布

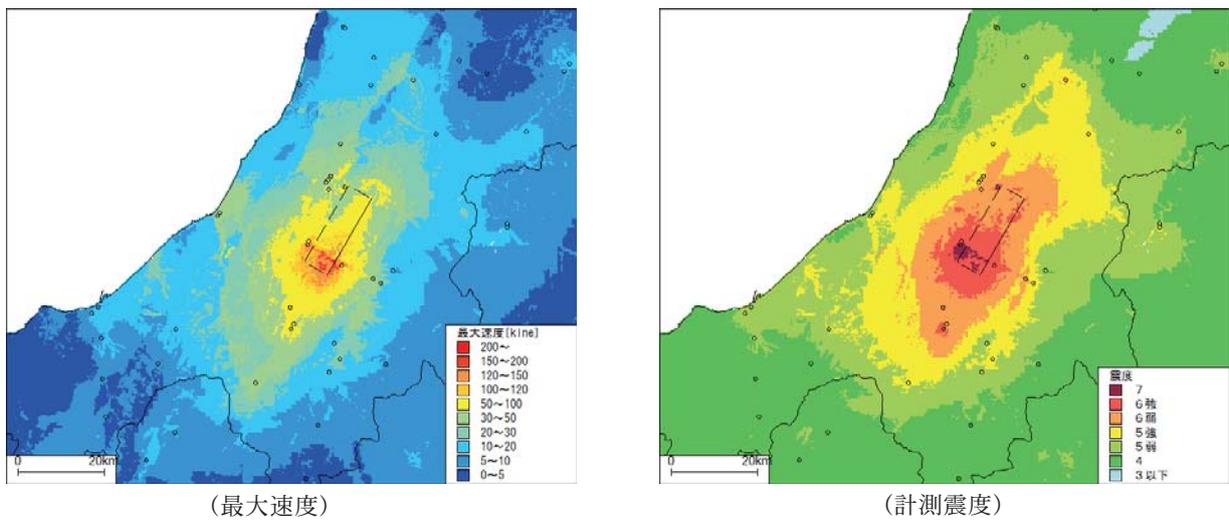
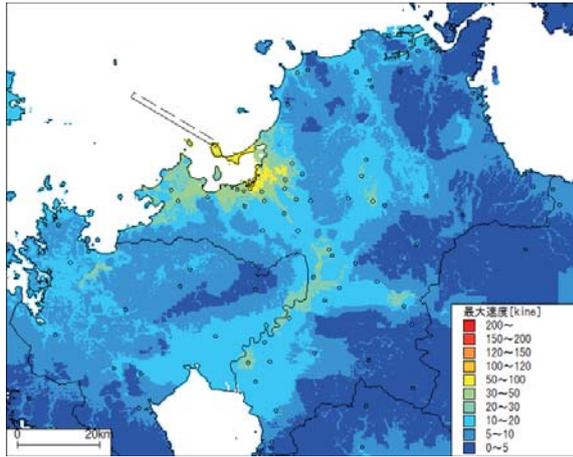
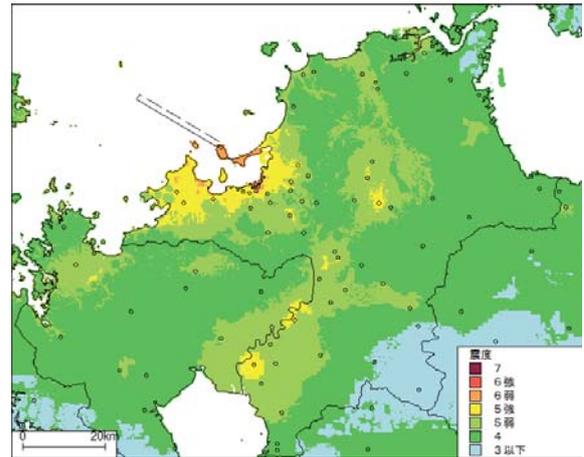


図 3.3.1-19 2004 年新潟県中越地震の地震動分布

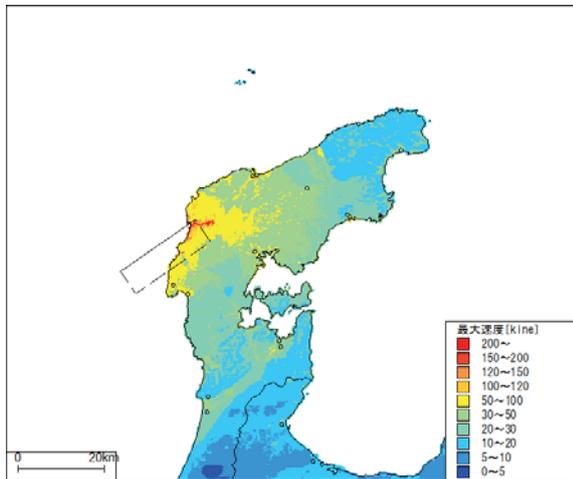


(最大速度)

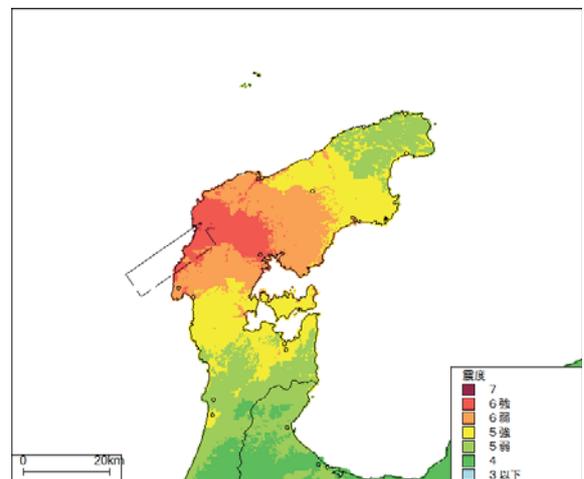


(計測震度)

図 3.3.1-20 2005 年福岡県西方沖地震の地震動分布

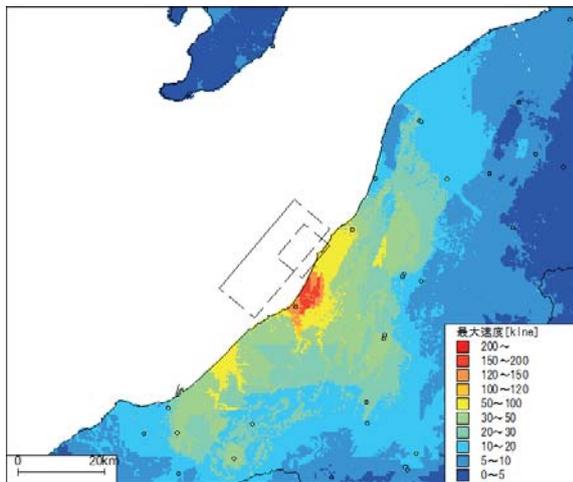


(最大速度)

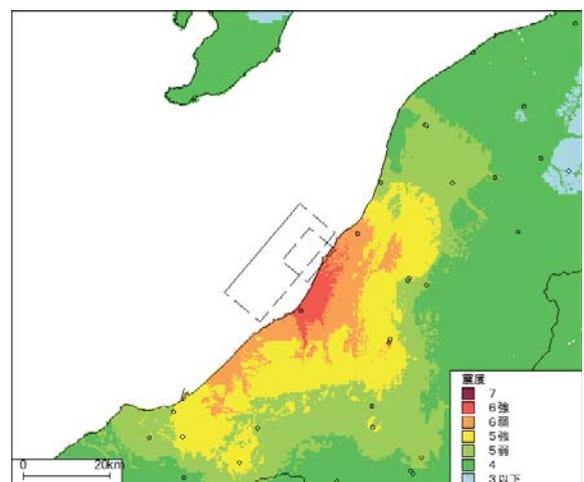


(計測震度)

図 3.3.1-21 2007 年能登半島地震の地震動分布

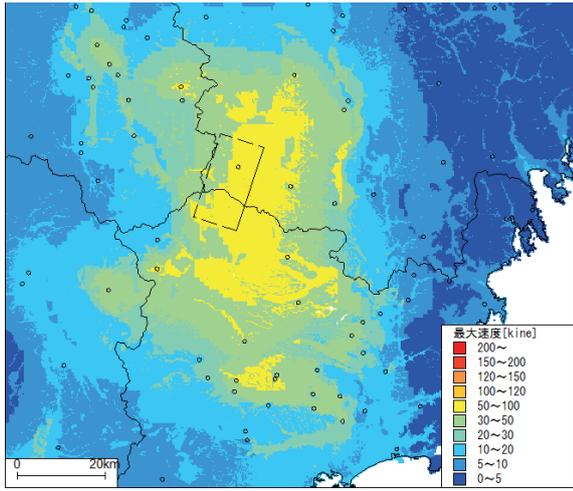


(最大速度)

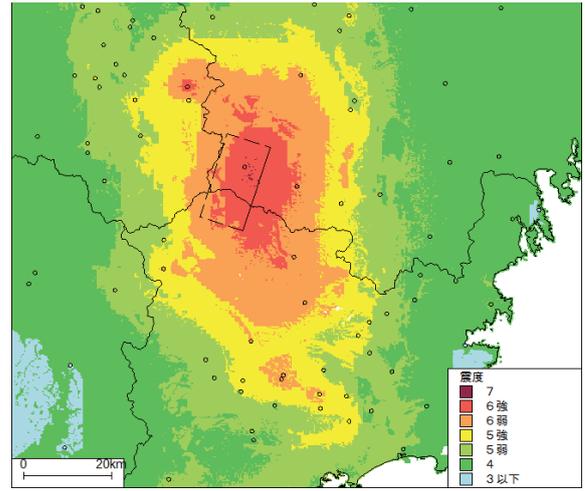


(計測震度)

図 3.3.1-22 2007 年新潟県中越沖地震の地震動分布

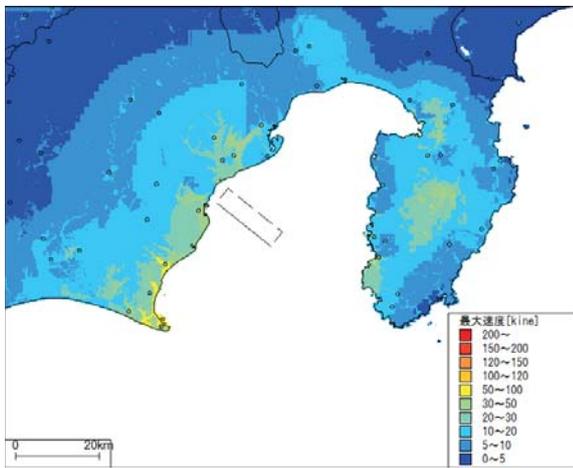


(最大速度)

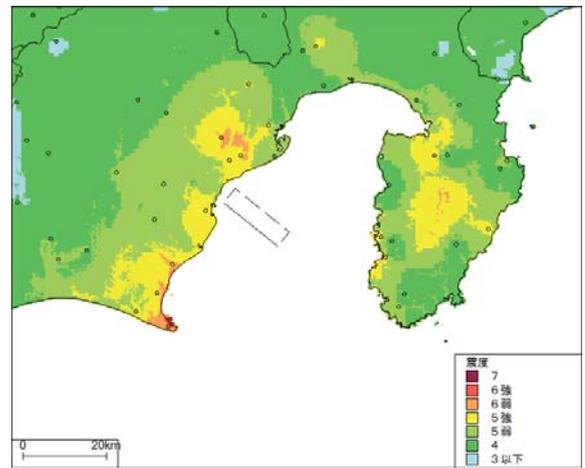


(計測震度)

図 3.3.1-23 2008 年岩手宮城内陸地震の地震動分布

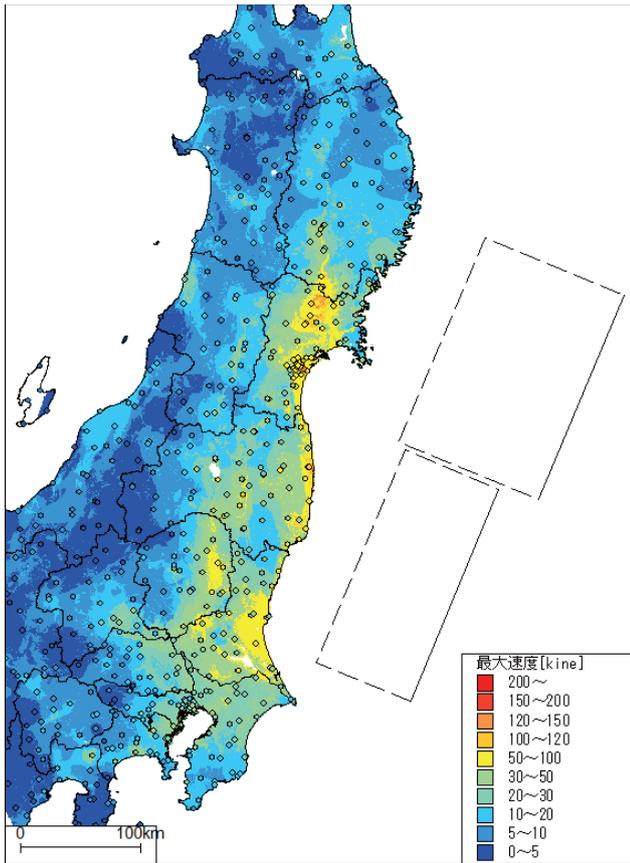


(最大速度)

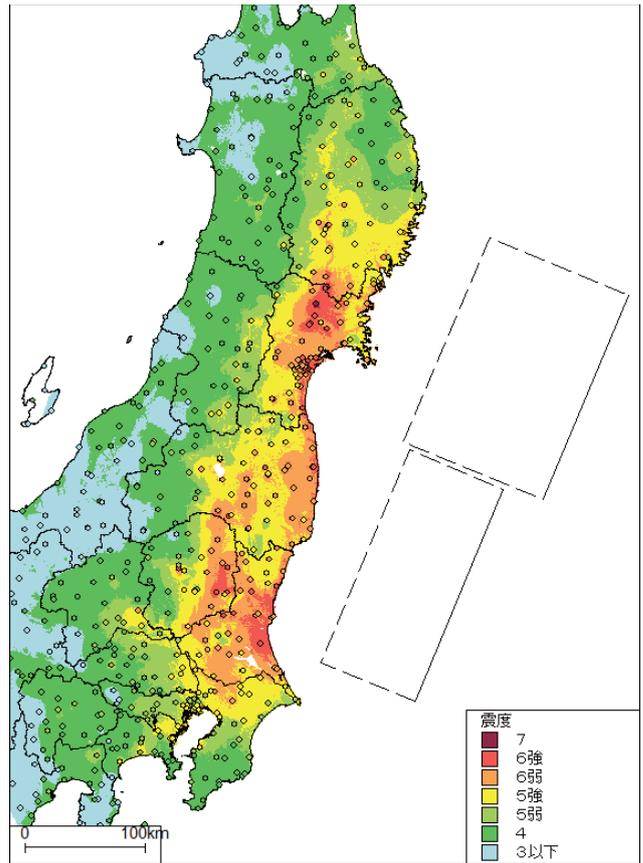


(計測震度)

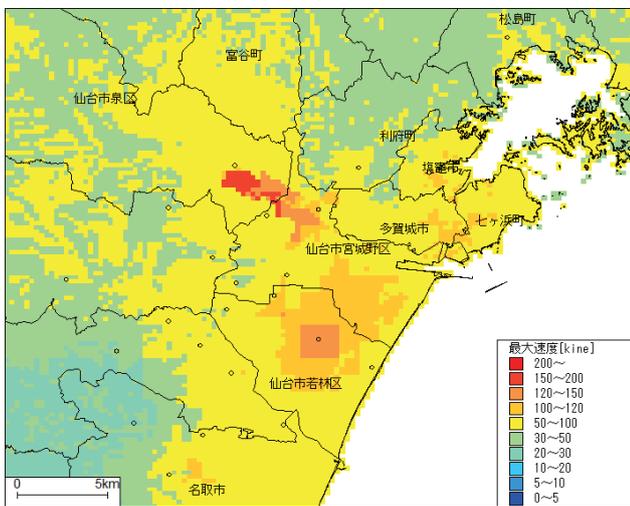
図 3.3.1-24 2009 年駿河湾の地震の地震動分布



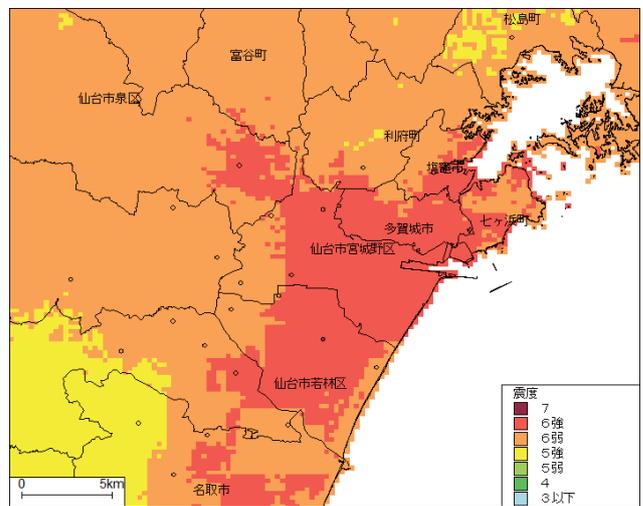
(最大速度：全域)



(計測震度：全域)



(最大速度：仙台周辺)



(計測震度：仙台周辺)

図 3.3.1-25 2011 年東北地方太平洋沖地震の地震動分布

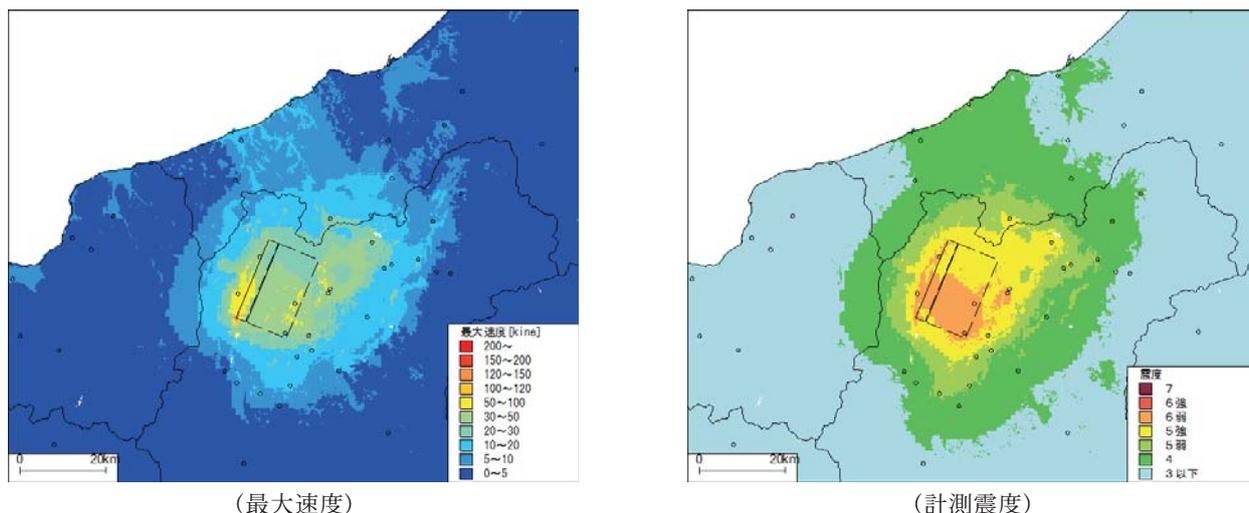


図 3.3.1-26 2014年長野県北部の地震の地震動分布

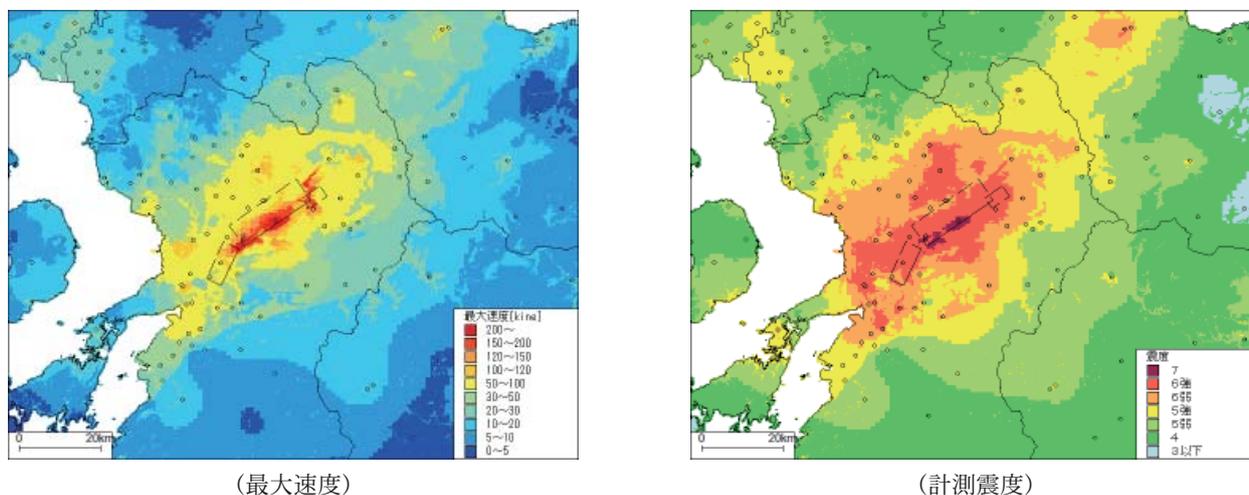


図 3.3.1-27 2016年熊本地震(4/16)の地震動分布

(4) 検討対象とした建物被害関数

兵庫県南部地震において、自治体による被害判定と建物構造上の被害判定に大きな乖離が生じたことが指摘されている。このため、建物被害の地震リスク評価を行う場合、どのような基準に基づく被害量を算出するかを予め設定しておく必要がある。地震による被害を考えた場合、自治体が発行する罹災証明に基づき被害量の集計が行われるとともに、これらを元に様々な復興施策が行われる。地震リスク評価の利活用の観点からすると、全国概観版地震リスク評価に適用する建物被害の基準は、罹災証明(または自治体)の被害判定基準に基づく被害を評価する必要がある。

以降では、全国概観版地震リスク評価の被害関数の候補とした罹災証明(または自治体)の被害判定基

準に基づく既往の建物被害関数の概要を示すとともに、各被害関数を利用して住家全壊棟数、全半壊棟数を予測し、実被害と比較した。

対象とした建物被害関数

検討に用いた被害関数は以下の通りである(図 3.3.1-29 ~ 図 3.3.1-40 参照)。なお、全国地震動予測地図の地震ハザードは最大速度と計測震度で評価されているため、対象とした被害関数も最大速度と計測震度に限定した。

- 中央防災会議防災対策推進検討会議南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ(2012)の全壊率と計測震度の関係(以降、「中央防災会議(2012)」と称す)
- 東京都防災会議(2013)の全半壊率と計測震度の

関係

- 翠川ほか(2011)の全壊・全半壊率と計測震度の関係
- 中嶋・岡田(2008)の損傷度(Damage Index)別被害率と計測震度の関係
- 村尾・山崎(2000)の全壊・全半壊率と最大速度の関係
- 堀江(2004)による損傷度(Damage Grade)別被害率と最大速度の関係
- 愛知県防災会議地震部会(2003)による全壊・全半壊率と最大速度の関係(以降「愛知県(2003)」と称す)

なお、上記の被害関数の損傷度と罹災証明(または自治体)の被害判定基準は、岡田・高井(1999)で提案された図 3.3.1-28 に示す関係とした。

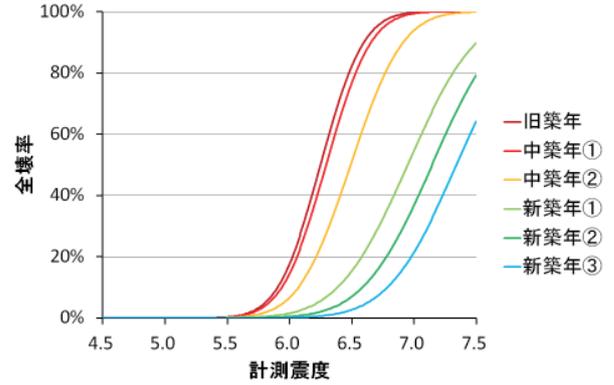
上記に示した被害関数のうち、中嶋・岡田(2008)や堀江(2004)は木造のみの被害関数である。しかし、実際の被害は非木造建物でも発生していることから検証の際は、中嶋・岡田(2008)や堀江(2004)も何らかの方法で非木造建物被害を推定する必要がある。そこで、上記7つの被害関数を組合せ表 3.3.1-10 に示した手法①～⑥の6ケースを具体的な検討対象手法とした。



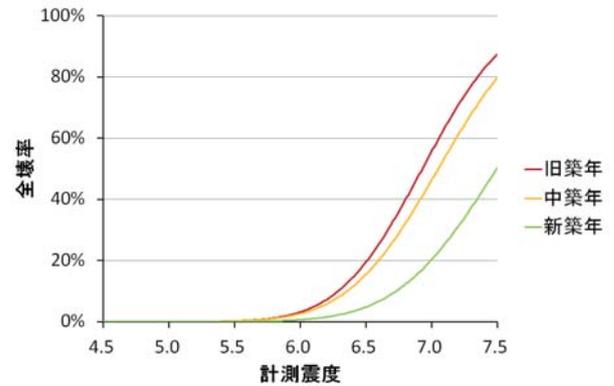
図 3.3.1-28 被害尺度の関係

表 3.3.1-10 検討した手法の被害関数の組合せ

手法	構造	被災度		地震動指標
		全壊	全半壊	
手法①	木造	中央防災会議(2012)	東京都防災会議(2013)	計測震度
	非木造	中央防災会議(2012)	東京都防災会議(2013)	
手法②	木造	翠川ほか(2011)	翠川ほか(2011)	計測震度
	非木造	翠川ほか(2011)	翠川ほか(2011)	
手法③	木造	中嶋・岡田(2008)	中嶋・岡田(2008)	計測震度
	非木造	中央防災会議(2012)	東京都防災会議(2013)	
手法④	木造	村尾・山崎(2000)	村尾・山崎(2000)	最大速度
	非木造	村尾・山崎(2000):RC造	村尾・山崎(2000):RC造	
手法⑤	木造	堀江(2004)	堀江(2004)	最大速度
	非木造	村尾・山崎(2000):RC造	村尾・山崎(2000):RC造	
手法⑥	木造	愛知県(2003)	愛知県(2003)	最大速度
	非木造	愛知県(2003):RC造3-4F	愛知県(2003):RC造3-4F	

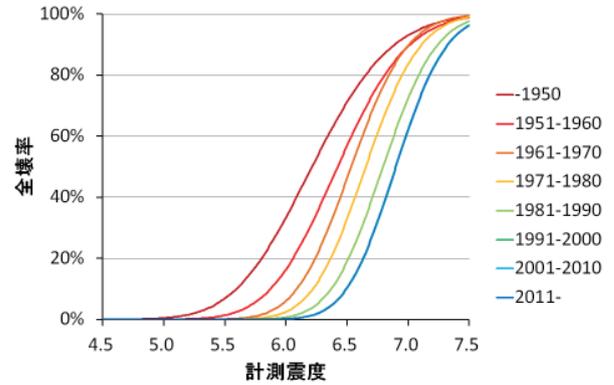


(木造)



(非木造)

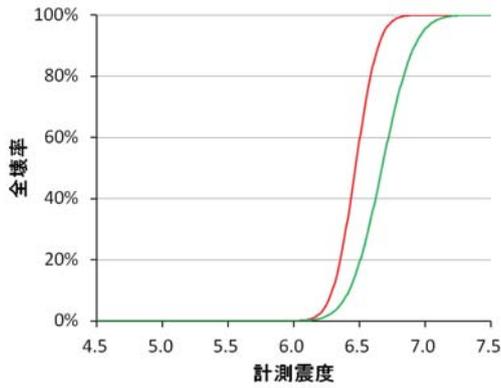
図 3.3.1-29 中央防災会議(2012)の全壊率関数^{注1}



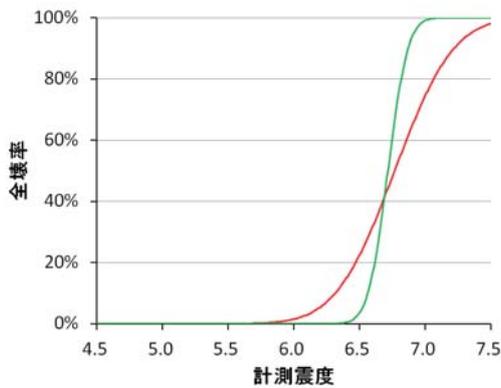
(木造)

図 3.3.1-30 中嶋・岡田(2008)の損傷度 0.6 以上(全壊)と計測震度の関係

注1: 木造の旧築年は1962年以前築, 中築年①は1963～71年築, 中築年②は1972～80年築, 新築年①は1981～89年築, 新築年②は1990～2001年築, 新築年③は2002年以降築を示す。非木造の旧築年は1971年以前築, 中築年は1972～80年築, 新築年は1981年以降築を示す。

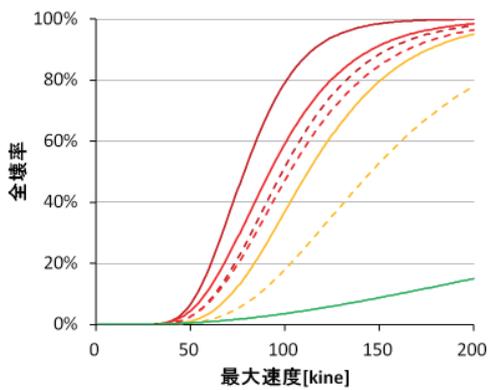


(木造)



(非木造)

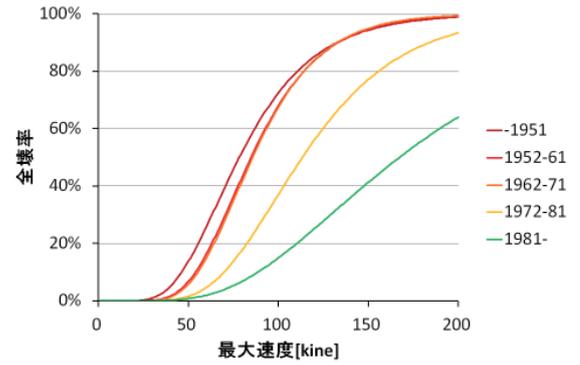
図 3.3.1-31 翠川ほか(2011)の全壊率関数^{注2}



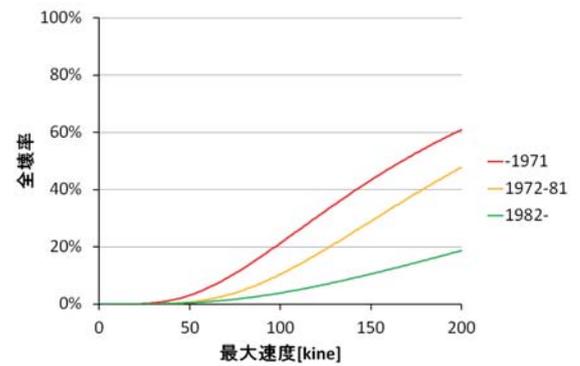
(木造)

図 3.3.1-32 堀江(2004)の損傷度 D4 以上(全壊)と最大速度の関係

注2：木造・非木造ともに旧耐震は1981年以前築，新耐震は1982年以降築を示す。

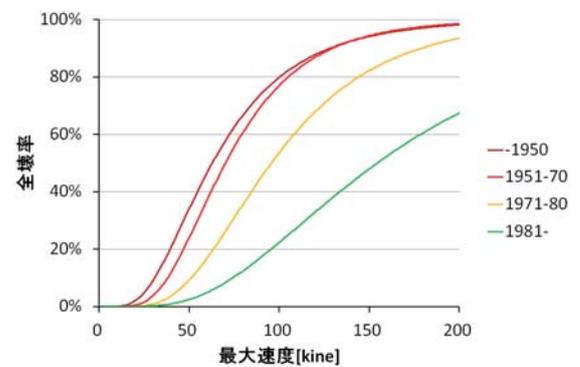


(木造)

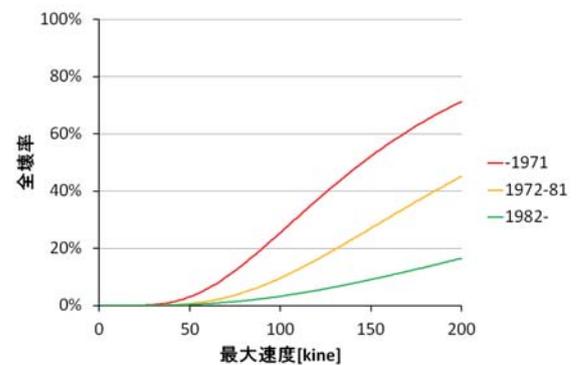


(RC造)

図 3.3.1-33 村尾・山崎(2000)の全壊率関数

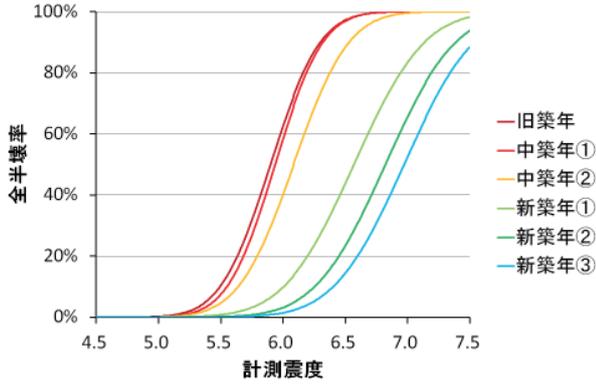


(木造)

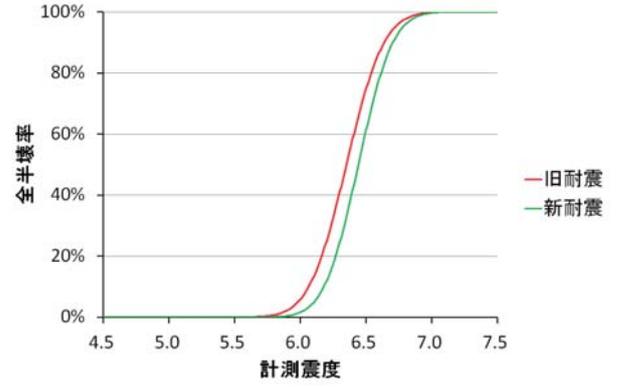


(RC造：3-4階建)

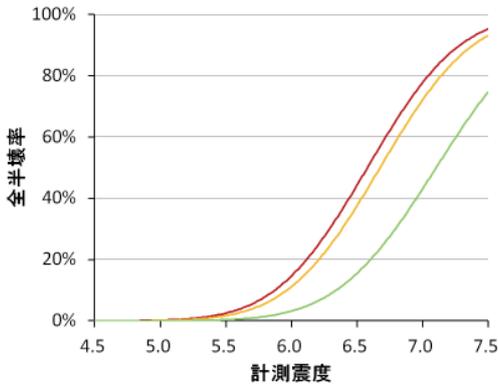
図 3.3.1-34 愛知県(2003)の全壊率関数



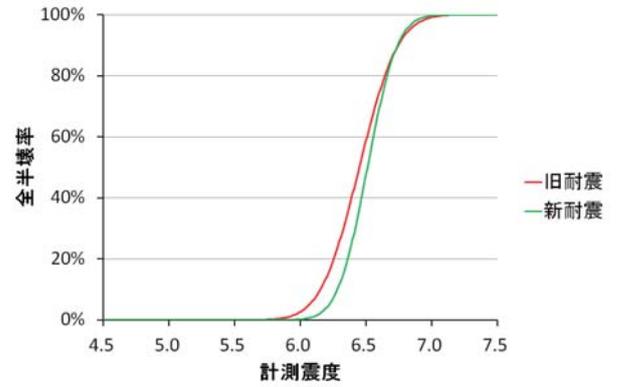
(木造)



(木造)



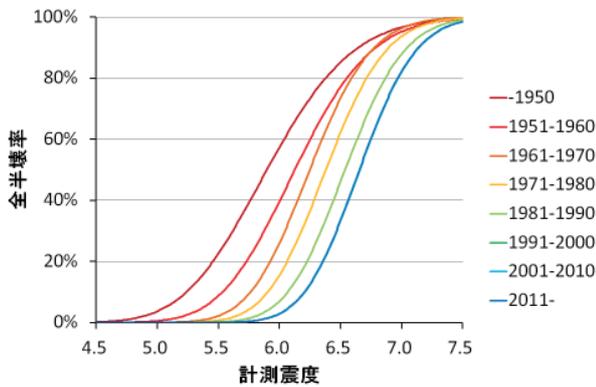
(非木造)



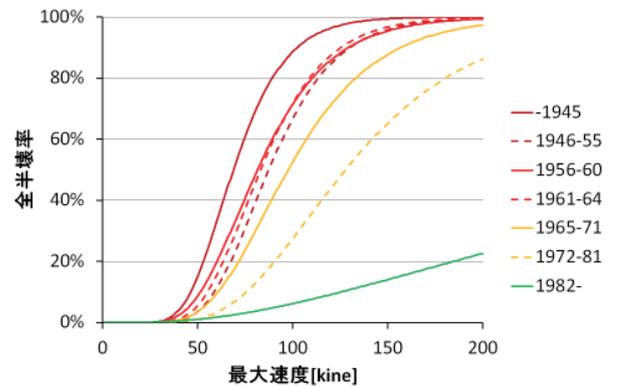
(非木造)

図 3.3.1-35 東京都防災会議(2013)の全半壊率関数^{注3}

図 3.3.1-37 翠川ほか(2011)の全半壊率関数^{注4}



(木造)



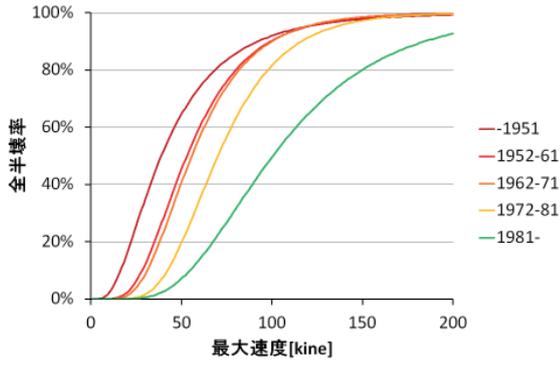
(木造)

図 3.3.1-36 中嶋・岡田(2008)の損傷度 0.4 以上(全半壊)と計測震度の関係

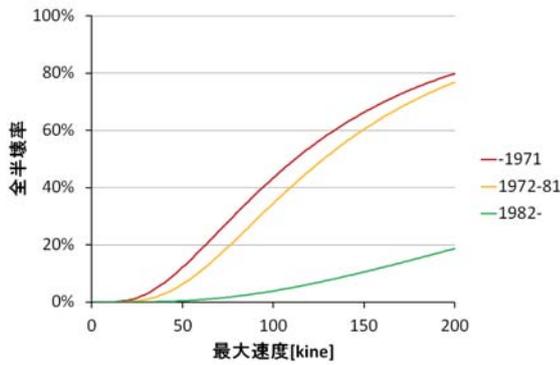
図 3.3.1-38 堀江(2004)の損傷度 D3 以上(全半壊)と最大速度の関係

注 3 : 木造の旧築年は 1962 年以前築, 中築年①は 1963 ~ 71 年築, 中築年②は 1972 ~ 80 年築, 新築年①は 1981 ~ 89 年築, 新築年②は 1990 ~ 2001 年築, 新築年③は 2002 年以降築を示す. 非木造の旧築年は 1971 年以前築, 中築年は 1972 ~ 80 年築, 新築年は 1981 年以降築を示す.

注 4 : 木造・非木造ともに旧耐震は 1981 年以前築, 新耐震は 1982 年以降築を示す.

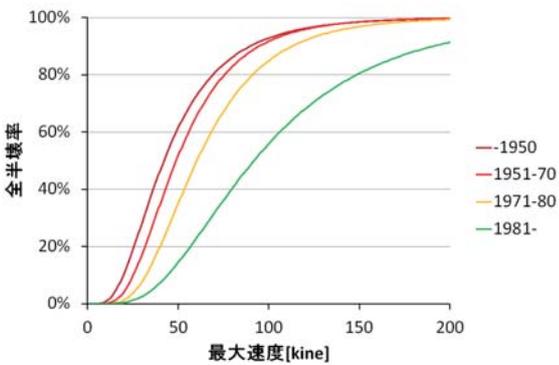


(木造)

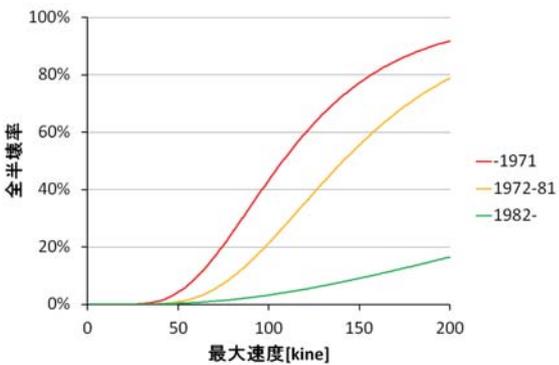


(RC造)

図 3.3.1-39 村尾・山崎(2000)の全半壊率関数



(木造)



(RC造：3-4階建)

図 3.3.1-40 愛知県(2003)の全半壊率関数

なお、手法①～⑥に使用する建築年代区分は各被害関数でばらばらで、住宅建物棟数データの建築年代区分とも一致していない。このため、検証の際は、各被害関数の建築年代区分を表 3.3.1-11 に示す住宅建物データの年代区分に対応させ検証を行った。

表 3.3.1-11 住宅建物と被害関数の年代区分の対応関係

住宅建物棟数データ		中央防災会議(2012)	翠川ほか(2011)	中嶋・岡田(2008)	村尾・山崎(2000)	堀江(2004)	愛知県(2003)	
構造	建築年代区分							
木造	～1960	旧築年	旧耐震	1951～60	1952～61	1946～55	1951～70	
	1961～70	中築年①		1961～70	1962～71	1965～71		
	1971～80	中築年②		1971～80	1972～81	1972～81	1971～80	
	1981～90	新築年①	新耐震	1981～90	1982～	1982～	1981～	
	1991～2000	新築年②		1991～2000				
	2001～10	新築年③		2001～10				
2011～		2011～						
非木造	～1960	旧築年	旧耐震				～1971(RC)	
	1961～70							中築年
	1971～80	1972～81(RC)					1972～81(RC:3-4F)	
	1981～90	新築年	新耐震				1982～(RC)	1982～(RC:3-4F)
	1991～2000							
	2001～10							
2011～								

手法の予測結果と実被害との比較

各手法による住家全壊棟数・全半壊棟数の地震毎の予測値と消防庁の被害報に基づき作成した実被害棟数を比較したものを図 3.3.1-41・図 3.3.1-42 に示した。また、実被害と予測値の誤差について全 15 地震の対数平均と対数標準偏差を表 3.3.1-12 に示した(東北地方太平洋沖地震については図 3.3.1-43 に示した沿岸部の市町村を対象から除外した)。また、地震毎の構造別予測値一覧と実被害を表 3.3.1-13 ～ 表 3.3.1-16 に示した。各手法の予測値と実被害を比較した結果を整理すると以下の通りである。

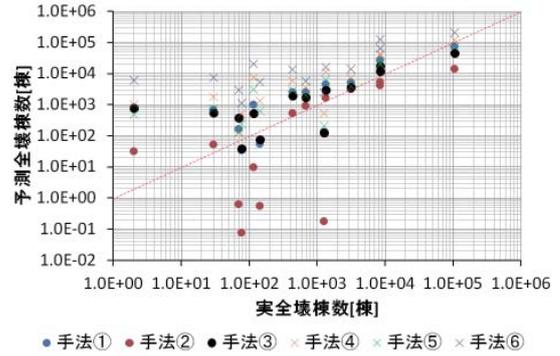
- 最大速度の被害関数を利用した手法④～⑥の予測値は、計測震度の被害関数を利用した手法①～③の予測値よりも大きい傾向がある。実被害との比較の点からは、全半壊の手法⑤以外のケースでは、計測震度の被害関数である手法①～③の方が最大速度の被害関数である手法④～⑥よりも実被害に近い結果が得られた。
- 計測震度の被害関数である手法①～③の予測値は、手法①が最も大きな値で、次いで手法③、手法②の順になる地震が殆どであった。手法①と手法③は、地震毎の実被害と予測値の乖離の傾向が似ており、多くの場合、手法③の方が実被害に近い結果が得られた。
- 手法②は、全壊被害に関しては、鳥取県西部地震、新潟県中越地震、能登半島地震、新潟県中越沖地震、岩手宮城内陸地震などで非常に実被害と近い結果が得られた反面、被害規模の小さな地震で被害がほとんど発生しないケースも多く見られた。また、全体的に実被害を過小評価する傾向があり、全半壊被害の場合は特に顕著であった。

- 表 3.3.1-12 に示した予測誤差（絶対値）の対数平均と対数標準偏差からは、全壊の場合、手法③が最も平均値が小さく、全半壊の場合も最も小さい手法⑤とあまり変わらない結果となった。

以上の結果から、全国概観版地震リスク評価の建物被害予測に用いる建物被害関数は、木造建物は中嶋・岡田(2008)の損傷度別被害率と計測震度の関係、非木造建物は中央防災会議(2012)および東京都防災会議(2013)を利用することとした。以下では、中嶋・岡田(2008)の損傷度別被害率と計測震度の関係の概要を示す。

中嶋・岡田(2008)では、木造住宅の耐震精密診断値(2004年改訂前の耐震精密診断)から求めた耐震評点分布と、損傷度(Damage Index)毎の計測震度と評点の関係から、建物被害関数を作成している。耐震評点分布は式(3.3.1-23)に示す対数正規分布で建築年代区分毎に示されている。中嶋・岡田(2008)の耐震評点分布を図 3.3.1-44 に、評点分布を示すパラメータを表 3.3.1-17 に示した。

$$g(s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma s} \exp\left(-\frac{(\ln(s) - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3.3.1-23)$$

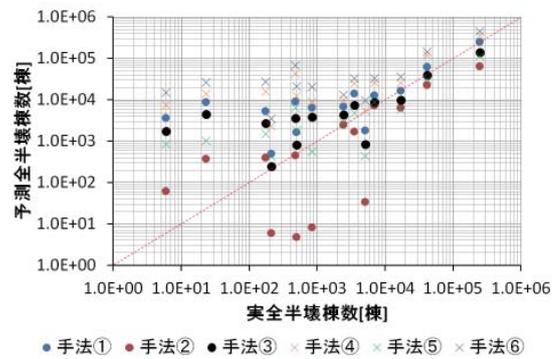


(実被害と予測値のプロット)

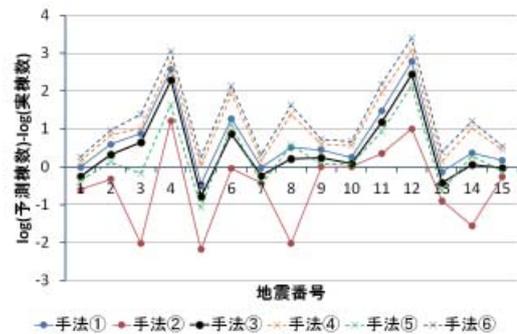


(地震毎の予測値と実被害の差)

図 3.3.1-41 実被害と予測値の比較(全壊棟数)注5



(実被害と予測値のプロット)



(地震毎の予測値と実被害の差)

図 3.3.1-42 実被害と予測値の比較(全半壊棟数)注5

注5：図中の地震番号は表 3.3.1-13～表 3.3.1-16 の No. と対応する。

表 3.3.1-12 実被害と予測値の誤差(絶対値)の対数平均と対数標準偏差

	全壊		全半壊	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
手法①	0.89	0.92	0.80	0.87
手法②	1.12	1.19	0.86	0.77
手法③	0.83	0.94	0.67	0.76
手法④	1.14	1.00	1.08	0.97
手法⑤	0.92	0.92	0.65	0.62
手法⑥	1.58	1.16	1.28	1.02

表 3.3.1-13 住家全壊棟数の実被害と予測値(1)注6

No	地震名	実被害	手法①			手法②			手法③			実被害の出現
			計	木造	非木造	計	木造	非木造	計	木造	非木造	
1	1995年兵庫県南部地震	104,906	73,642	71,172	2,470	13,862	12,256	1,607	46,222	43,753	2,470	消防庁(2006)
2	2000年鳥取県西部地震	435	2,534	2,508	26	527	520	7	1,968	1,942	26	消防庁(2002a)
3	2001年雲予地震	70	160	142	18	1	0	1	370	351	18	消防庁(2002b)
4	2003年宮城県沖の地震	2	800	791	8	31	30	2	758	750	8	消防庁(2003)
5	2003年宮城県北部の地震	1,276	131	130	1	0	0	0	125	124	1	消防庁(2004a)
6	2003年十勝沖地震	116	977	959	17	9	5	4	518	501	17	消防庁(2004b)
7	2004年新潟県中越地震	3,175	5,096	5,052	45	3,049	3,004	45	3,608	3,564	45	消防庁(2009a)
8	2005年福岡県西方沖地震	144	55	44	10	1	0	1	77	67	10	消防庁(2009b)
9	2007年能登半島地震	686	2,456	2,447	9	911	905	7	1,686	1,676	9	消防庁(2009c)
10	2007年新潟県中越沖地震	1,331	4,499	4,458	41	1,632	1,616	16	2,953	2,912	41	消防庁応急対応室(2013)
11	2008年岩手宮城内陸地震	30	668	664	4	52	51	1	545	541	4	消防庁(2010a)
12	2009年駿河湾の地震	0	230	213	17	2	1	1	222	205	17	消防庁(2010b)
-	2011年東北地方太平洋沖地震(全域)	121,768	50,845	49,816	1,028	8,958	8,599	359	32,752	31,724	1,028	消防庁災害対策本部(2017)
13	2011年東北地方太平洋沖地震(内陸)	8,467	26,601	26,178	423	4,178	4,091	87	17,677	17,253	423	消防庁災害対策本部(2015)
14	2014年長野県北部の地震	77	34	33	1	0	0	0	39	38	1	消防庁災害対策本部(2015)
15	2016年熊本地震	8,425	17,089	16,670	420	5,308	5,137	172	11,649	11,230	420	消防庁応急対応室(2017)

表 3.3.1-14 住家全壊棟数の実被害と予測値(2)

No	地震名	実被害	手法④			手法⑤			手法⑥			実被害の出現
			計	木造	非木造	計	木造	非木造	計	木造	非木造	
1	1995年兵庫県南部地震	104,906	121,883	116,672	5,211	69,507	64,296	5,211	211,568	206,332	5,236	消防庁(2006)
2	2000年鳥取県西部地震	435	5,866	5,799	67	2,855	2,788	67	13,300	13,239	61	消防庁(2002a)
3	2001年雲予地震	70	128	107	21	134	112	21	2,940	2,925	15	消防庁(2002b)
4	2003年宮城県沖の地震	2	1,052	1,038	14	477	463	14	5,983	5,971	12	消防庁(2003)
5	2003年宮城県北部の地震	1,276	518	515	3	206	203	3	2,506	2,503	3	消防庁(2004a)
6	2003年十勝沖地震	116	7,539	7,424	116	3,153	3,037	116	20,623	20,512	111	消防庁(2004b)
7	2004年新潟県中越地震	3,175	7,166	7,102	64	3,810	3,746	64	14,118	14,058	60	消防庁(2009a)
8	2005年福岡県西方沖地震	144	1,346	1,238	108	629	521	108	5,417	5,324	93	消防庁(2009b)
9	2007年能登半島地震	686	3,460	3,445	15	2,048	2,033	15	5,872	5,858	14	消防庁(2009c)
10	2007年新潟県中越沖地震	1,331	11,640	11,508	132	6,357	6,225	132	16,000	15,883	117	消防庁応急対応室(2013)
11	2008年岩手宮城内陸地震	30	1,768	1,757	11	748	737	11	7,399	7,390	9	消防庁(2010a)
12	2009年駿河湾の地震	0	533	505	29	289	260	29	3,049	3,026	23	消防庁(2010b)
-	2011年東北地方太平洋沖地震(全域)	121,768	88,986	86,993	1,994	41,939	39,945	1,994	216,487	214,762	1,725	消防庁災害対策本部(2017)
13	2011年東北地方太平洋沖地震(内陸)	8,467	42,033	41,031	1,002	21,504	20,501	1,002	123,543	122,713	830	消防庁災害対策本部(2015)
14	2014年長野県北部の地震	77	496	491	5	234	229	5	1,145	1,140	4	消防庁災害対策本部(2015)
15	2016年熊本地震	8,425	40,201	39,320	880	19,316	18,436	880	65,163	64,360	803	消防庁応急対応室(2017)

注 6 : 2011年東北地方太平洋沖地震(内陸)は図 3.3.1-43 に示した市町村を除いた地域を示す。

表 3.3.1-15 住家全半壊棟数の実被害と予測値(1)

No	地震名	実被害	手法①			手法②			手法③			実被害の出現
			計	木造	非木造	計	木造	非木造	計	木造	非木造	
1	1995年兵庫県南部地震	249,180	245,197	235,263	9,933	63,040	57,936	5,104	139,142	129,209	9,933	消防庁(2006)
2	2000年鳥取県西部地震	3,536	14,106	13,946	160	1,679	1,664	15	7,447	7,287	160	消防庁(2002a)
3	2001年雲予地震	844	6,404	6,192	212	8	8	0	3,805	3,593	212	消防庁(2002b)
4	2003年宮城県沖の地震	23	8,646	8,581	65	376	372	4	4,492	4,427	65	消防庁(2003)
5	2003年宮城県北部の地震	5,085	1,791	1,782	9	34	34	0	850	842	9	消防庁(2004a)
6	2003年十勝沖地震	484	9,039	8,924	115	442	437	5	3,605	3,490	115	消防庁(2004b)
7	2004年新潟県中越地震	16,985	16,230	16,065	165	6,321	6,137	185	9,807	9,642	165	消防庁(2009a)
8	2005年福岡県西方沖地震	497	1,614	1,516	98	5	5	0	812	714	98	消防庁(2009b)
9	2007年能登半島地震	2,426	6,810	6,775	35	2,436	2,404	32	4,301	4,266	35	消防庁(2009c)
10	2007年新潟県中越沖地震	7,041	12,533	12,368	166	7,138	6,963	175	8,800	8,434	166	消防庁応急対応室(2013)
11	2008年岩手宮城内陸地震	176	5,310	5,284	26	398	393	5	2,710	2,683	26	消防庁(2010a)
12	2009年駿河湾の地震	6	3,647	3,500	147	60	59	1	1,712	1,565	147	消防庁(2010b)
-	2011年東北地方太平洋沖地震(全域)	401,928	246,905	241,521	5,385	56,552	54,837	1,715	135,271	129,886	5,385	消防庁災害対策本部(2017)
13	2011年東北地方太平洋沖地震(内陸)	192,895	142,878	140,074	2,804	24,631	24,248	283	74,915	72,110	2,804	消防庁災害対策本部(2015)
14	2014年長野県北部の地震	213	499	493	6	6	6	0	246	240	6	消防庁災害対策本部(2015)
15	2016年熊本地震	41,712	62,211	60,381	1,830	22,603	21,804	799	39,464	37,634	1,830	消防庁応急対応室(2017)

表 3.3.1-16 住家全半壊棟数の実被害と予測値(2)

No	地震名	実被害	手法④			手法⑤			手法⑥			実被害の出現
			計	木造	非木造	計	木造	非木造	計	木造	非木造	
1	1995年兵庫県南部地震	249,180	356,111	337,047	19,065	111,583	92,518	19,065	453,336	443,318	10,018	消防庁(2006)
2	2000年鳥取県西部地震	3,536	24,382	23,997	385	4,713	4,328	385	32,687	32,575	112	消防庁(2002a)
3	2001年雲予地震	844	8,886	8,571	315	565	251	315	20,493	20,481	12	消防庁(2002b)
4	2003年宮城県沖の地震	23	13,826	13,699	127	1,013	885	127	26,412	26,395	17	消防庁(2003)
5	2003年宮城県北部の地震	5,085	5,422	5,393	29	432	403	29	9,434	9,430	4	消防庁(2004a)
6	2003年十勝沖地震	484	42,479	41,838	641	6,272	5,631	641	67,168	66,978	191	消防庁(2004b)
7	2004年新潟県中越地震	16,985	25,212	24,913	299	5,742	5,443	299	35,688	35,566	122	消防庁(2009a)
8	2005年福岡県西方沖地震	497	12,298	11,462	836	1,864	1,028	836	21,258	21,092	167	消防庁(2009b)
9	2007年能登半島地震	2,426	9,807	9,743	64	2,835	2,771	64	13,034	13,005	28	消防庁(2009c)
10	2007年新潟県中越沖地震	7,041	25,942	25,455	487	8,596	8,109	487	33,274	32,988	286	消防庁応急対応室(2013)
11	2008年岩手宮城内陸地震	176	15,864	15,765	99	1,494	1,395	99	27,222	27,208	14	消防庁(2010a)
12	2009年駿河湾の地震	6	7,347	7,031	316	851	535	316	15,106	15,075	31	消防庁(2010b)
-	2011年東北地方太平洋沖地震(全域)	401,928	448,205	433,672	14,534	82,351	67,817	14,534	719,737	716,464	3,273	消防庁災害対策本部(2017)
13	2011年東北地方太平洋沖地震(内陸)	192,895	265,598	256,160	9,438	44,866	35,528	9,438	477,430	476,133	1,297	消防庁災害対策本部(2015)
14	2014年長野県北部の地震	213	2,283	2,247	36	414	378	36	3,457	3,449	8	消防庁災害対策本部(2015)
15	2016年熊本地震	41,712	118,257	114,148	4,109	31,612	27,503	4,109	145,256	143,430	1,827	消防庁応急対応室(2017)

表 3.3.1-17 中嶋・岡田(2008)の耐震評点分布を示すパラメータ

年代	-1950	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-
μ	-1.0968	-0.7598	-0.5854	-0.4018	-0.1862	-0.0303
σ	0.8229	0.7046	0.5579	0.5335	0.5125	0.4809

ここで、

$g(s)$: 耐震評点分布, s : 耐震評点, μ : 対数平均, σ : 対数標準偏差(表 3.3.1-17 参照).

なお、中嶋・岡田(2008)では以下に示す考え方で木造建物の経年劣化を考慮することができる。

中嶋・岡田(2008)で利用した2004年改訂前の耐震診断における耐震評点は式(3.3.1-24)により算出される。

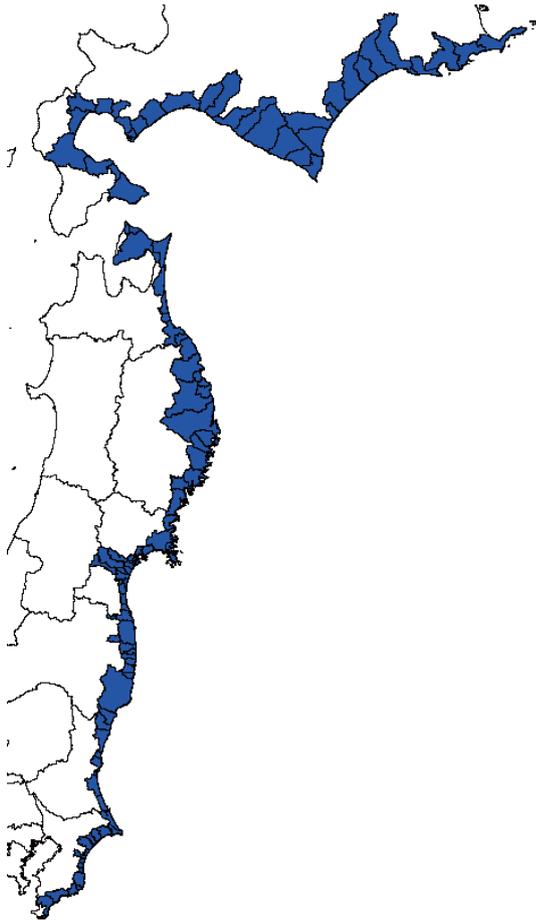


図 3.3.1-43 東北地方太平洋沖地震の内陸部の被害予測の際に対象外とした沿岸域の市町村

$$\text{耐震評点} = A \times B \times C \times D \times E \times F \quad (3.3.1-24)$$

ここで、A は地盤・基礎、B は建物の形、C は壁の配置、D は筋違、E は壁の割合、F は老朽度に関する得点を示す。

式(3.3.1-24)の老朽度 F について、耐震診断のデータから築年数と老朽度 F の関係を式(3.3.1-25)のように推定している(中嶋・岡田, 2008)。

$$F(t') = -0.0021 \times t' + 1 \quad (3.3.1-25)$$

ここで、 t' : 新築からの経過年数を示す。

経年劣化を考慮する際、式(3.3.1-25)の考え方を利用し、建築年代毎に表 3.3.1-17 の評点設定時点における築年数から老朽度を計算し新築時の耐震評点の平均値を推定した。その上で、リスク評価基準年における築年数より老朽度 F を計算して評価基準年における耐震評点の平均値(表 3.3.1-17 の μ)を算出した。ただし、築年数の計算は各建築年代区分の中央値で代表させ、評点分布の標準偏差は不変と仮定した。ただし、今回の被害予測手法の検討では経年

劣化は考慮していない。なお、「4. 全国概観版地震リスク評価」「5. 過去～現在の地震リスクの変遷に関する検討」「6. 現在～将来の地震リスクの変遷に関する検討」では評価基準年に応じた経年劣化を考慮した。

損傷度 (Damage Index) 毎の計測震度 I と評点 s の関係は式(3.3.1-24)で示される。

$$s = \{(I - a(x))/b(x)\}^{1/c(x)} \quad (3.3.1-24)$$

ここで、

s : 損傷度 x を与える耐震評点の上限値、

$a(x), b(x), c(x)$: 損傷度 x により異なる値を持つパラメータ(表 3.3.1-18 参照)、

x : 損傷度 (Damage Index)。

各損傷度の耐震評点の上限値と計測震度の関係を図 3.3.1-45 に示した。このうち、損傷度 0.6 の関係を全壊、損傷度 0.4 の関係を全半壊の損傷度関数として利用する。

図 3.3.1-44 に示した耐震評点分布と図 3.3.1-45 に示した損傷度関数(ある損傷度の被害が発生する上限評点と計測震度の関係)から全壊率、全半壊率の被害関数が作成される(図 3.3.1-46 参照)。

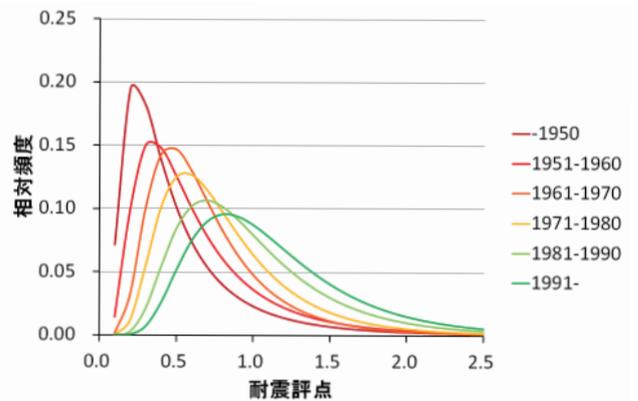


図 3.3.1-44 中嶋・岡田(2008)の耐震評点分布

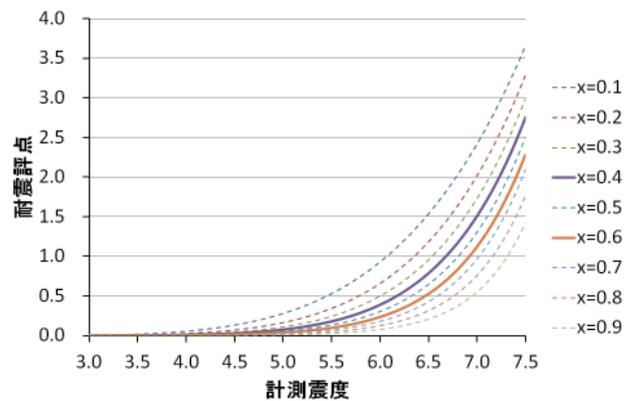


図 3.3.1-45 中嶋・岡田(2008)の各損傷度の耐震評点の上限値と計測震度の関係

表 3.3.1-18 中嶋・岡田(2008)の各損傷度の耐震評点の上限値と計測震度の関係を示すパラメータ

x	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
a	1.59088	1.27947	0.92832	0.48995	-0.053	-0.8875	-2.1635	-4.7189	-14.483
b	4.478027	5.07125	5.60769	6.18845	6.85846	7.8079	9.18332	11.8786	21.7951
c	0.213637	0.17143	0.14457	0.12293	0.10497	0.08649	0.06872	0.0495	0.02426

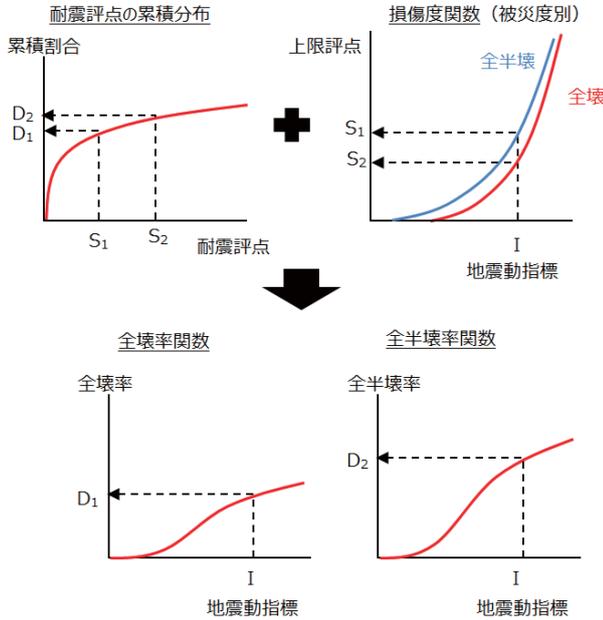


図 3.3.1-46 全壊率関数, 全半壊率関数の作成方法

被害地震発生の下限値設定

図 3.3.1-13 ~ 図 3.3.1-27 で示したように、地震動分布は大きな地震動のメッシュよりも小さな地震動のメッシュ数のほうが多い。このため、被害関数の下限値を設定せず被害予測を行うと、被害関数の立ち上がり部分のごくわずかな被害率によって、メッシュ単位の予測結果を広範囲で集計すると、地震動は全体的に小さくても被害が発生する結果となる場合がある。特に、全国概観版リスク評価の被害関数に採用した手法③は、被害が殆ど発生していない地震で過大評価する傾向があり、被害下限値となる地震動レベルを設定しておくことは有効と考えられる。そこで、気象庁 web ページの「日本付近で発生した主な被害地震(平成 8 年以降)」から、住家の最大被害と最大震度の関係を整理した(表 3.3.1-19 参照)。その結果、最大震度 4 では 95.1% の地震が住家被害がなく、震度 5 弱では 47.6%、震度 5 強では 54.2% の地震で一部損壊が最大被害として発生した。震度 6 弱では 76.5%、震度 6 強では 85.7% の地震で全壊が最大被害として発生した。震度 5 強では 8.3% の地震で全壊が最大被害として発生したが、

全壊棟数は合わせて 5 棟に過ぎず、他の多くの最大震度 5 強の地震では一部損壊や住家無被害が最大被害となっている。以上の点から、被害発生下限値として「全壊」は計測震度 5.5 (震度 6 弱) を設定した。半壊については、データが少なく実績から直接設定することが難しいが、一部損壊が震度 5 弱から多数発生していることから、ここでは計測震度 5.0 (震度 5 強) を「全半壊」の下限値として設定した。

被害関数への下限値導入については、下限値付近で段差ができないように、以下のような形で関数形に導入した。

• $I_{JMA} \leq I_{JMAI}$ の場合
 $f'(I_{JMA}) = 0.0$ (3.3.1-26)

• $I_{JMA} > I_{JMAI}$ の場合
 $f'(I_{JMA}) = \{f(I_{JMA}) - f(I_{JMAI})\} / \{1.0 - f(I_{JMAI})\}$ (3.3.1-27)

ここで、
 $f'(I_{JMA})$: 被害発生下限値設定後の被害率
 $f(I_{JMA})$: 被害発生下限値設定前の被害率
 I_{JMA} : 計測震度

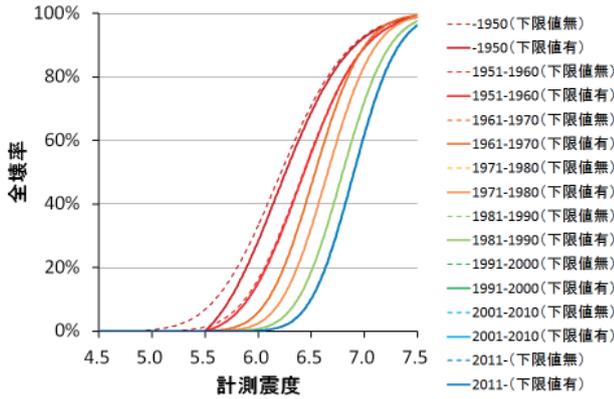
I_{JMAI} : 被害発生下限値(全壊: 5.5, 全半壊: 5.0)

なお、被害発生下限値の導入は、建物被害の大半を木造建物が占める点から、木造建物の被害関数である中嶋・岡田(2008)にのみ適用した。

被害発生下限値適用後の被害関数を図 3.3.1-47 に示すとともに、過去の被害地震の住家全壊・全半壊棟数の予測結果と実被害の比較を表 3.3.1-20 および図 3.3.1-48・図 3.3.1-49 に示した。また、実被害と予測値との誤差の対数平均・対数標準偏差を表 3.3.1-21 に示した。

表 3.3.1-19 気象庁 web ページから整理した平成 8 年以降の主な被害地震の最大震度と住家の最大被害の関係

最大震度	地震数				割合			
	全壊	半壊	一部損壊	住家被害無	全壊	半壊	一部損壊	住家被害無
4			2	39	0.0%	0.0%	4.9%	95.1%
5弱			20	22	0.0%	0.0%	47.6%	52.4%
5強	2		13	9	8.3%	0.0%	54.2%	37.5%
6弱	13	1	2	1	76.5%	5.9%	11.8%	5.9%
6強	6	1			85.7%	14.3%	0.0%	0.0%
7	3				100.0%	0.0%	0.0%	0.0%



(全壊)

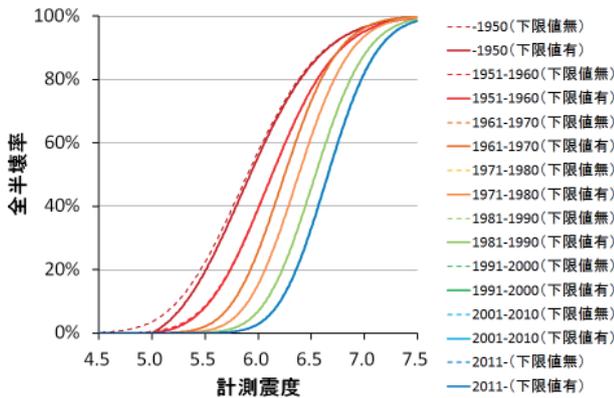
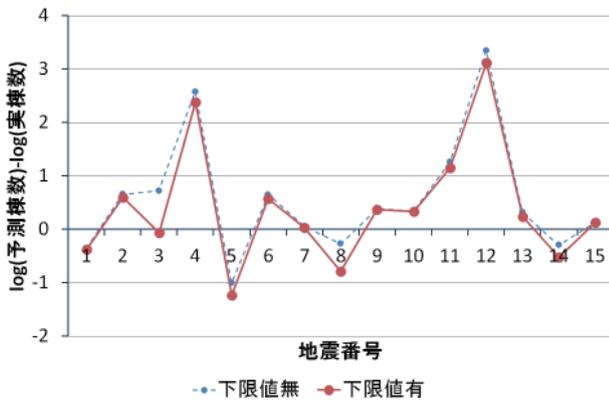
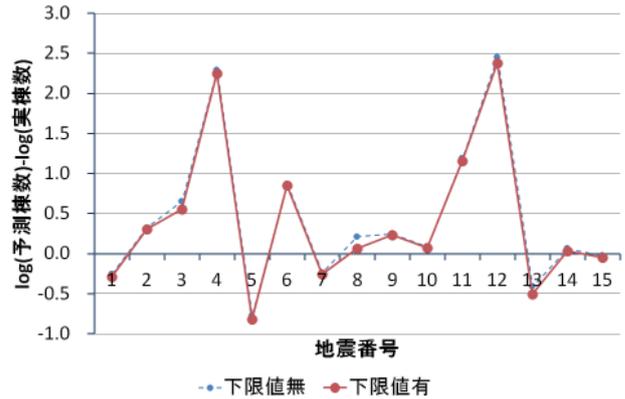


図 3.3.1-47 被害発生下限値設定有無による被害関数形状の違い



(全壊)

図 3.3.1-48 実被害と予測値の比較(全壊棟数)注7



(全半壊)

図 3.3.1-49 実被害と予測値の比較(全半壊棟数)注8

表 3.3.1-20 被害発生下限設定有無による予測値の違い

(全壊)

No	地震名	実被害	予測値		
			下限値		
			無	有	有/無
1	1995年兵庫県南部地震	104,906	46,222	44,341	95.9%
2	2000年鳥取県西部地震	435	1,968	1,735	88.2%
3	2001年芸予地震	70	370	61	16.6%
4	2003年宮城県沖の地震	2	758	481	63.5%
5	2003年宮城県北部の地震	1,276	125	75	60.3%
6	2003年十勝沖地震	116	518	438	84.5%
7	2004年新潟県中越地震	3,175	3,608	3,429	95.0%
8	2005年福岡県西方沖地震	144	77	24	30.6%
9	2007年能登半島地震	686	1,686	1,606	95.3%
10	2007年新潟県中越沖地震	1,331	2,953	2,869	97.1%
11	2008年岩手宮城内陸地震	30	545	422	77.4%
12	2009年駿河湾の地震	0	222	131	59.2%
13	2011年東北地方太平洋沖地震(内陸)	8,467	17,677	14,447	81.7%
14	2014年長野県北部の地震	77	39	23	59.6%
15	2016年熊本地震	8,425	11,649	11,225	96.4%

(全半壊)

No	地震名	実被害	予測値		
			下限値		
			無	有	有/無
1	1995年兵庫県南部地震	249,180	139,142	127,771	91.8%
2	2000年鳥取県西部地震	3,536	7,447	7,141	95.9%
3	2001年芸予地震	844	3,805	3,039	79.9%
4	2003年宮城県沖の地震	23	4,492	4,099	91.2%
5	2003年宮城県北部の地震	5,085	850	778	91.5%
6	2003年十勝沖地震	484	3,605	3,432	95.2%
7	2004年新潟県中越地震	16,985	9,807	9,508	97.0%
8	2005年福岡県西方沖地震	497	812	581	71.5%
9	2007年能登半島地震	2,426	4,301	4,193	97.5%
10	2007年新潟県中越沖地震	7,041	8,600	8,336	96.9%
11	2008年岩手宮城内陸地震	176	2,710	2,541	93.8%
12	2009年駿河湾の地震	6	1,712	1,436	83.9%
13	2011年東北地方太平洋沖地震(内陸)	192,895	74,915	60,100	80.2%
14	2014年長野県北部の地震	213	246	229	93.0%
15	2016年熊本地震	41,712	39,464	37,356	94.7%

注7：図中の地震番号は表 3.3.1-20 の No. と対応する。

注8：図中の地震番号は表 3.3.1-20 の No. と対応する。

表 3.3.1-21 被害発生下限設定有無による実被害と予測値の誤差(絶対値)の対数平均と対数標準偏差の変化

	全壊		全半壊	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
下限値有	0.79	0.88	0.65	0.75
下限値無	0.83	0.94	0.67	0.76

3.3.2 人的被害予測手法の検討

(1) 検討方針

死者・重傷者の予測手法は、メッシュ単位の全壊率の値から揺れによる建物被害に伴う死者・重傷者数を予測する既往手法を用いることとした。なお、田畑・岡田(2006)など死者の発生に直接結びつく倒壊率から死者率を予測する手法も提案されているが、倒壊棟数は地震の被害統計に現れない数値であり、検証しにくい面があることから検討対象から除外することとした。

以降では、人的被害予測手法の検討方法とその結果について示した。

(2) 検討方法と結果

人的被害予測手法の検討にあたっては、「3.3.1 建物被害予測手法の検討」で求めた250mメッシュ別住宅全壊率のデータと「4.2.3 人口データ」で作成した人口データを利用し、15地震の死者数・重傷者数の予測を行った。以降では、検討に利用したデータと検討方法および検討結果について示す。

検討対象地震

建物被害予測手法の検討と同じ1995年兵庫県南部地震以降の15の被害地震を対象とした(表 3.3.2-1 参照)。

検討に用いた人口データ

検討に用いた人口データは「4.2.3 人口データ」で作成した250mメッシュ別構造別建物内滞留人口を利用した。なお、地震発生時刻により人口分布は異なるが、「4.2.3 人口データ」で設定した人口移動モデル(図 4.2.3-5)から、地震発生時刻が0~7時と20~24時の場合は5時人口、9~17時の場合は12時人口、7~9時と17~20時の場合は18時人口を利用することとした。

表 3.3.2-1 検討の対象とした地震と人的被害^{注9}

No	発年月日 (yy/mm/dd)	地震名	Mw	発災時刻	被害		被害の出典
					死者	重傷者	
1	1995/01/17	兵庫県南部地震	6.9	5:46	6,434	10,683	消防庁(2006)
2	2000/10/06	鳥取県西部地震	6.8	13:30	0	39	消防庁(2002a)
3	2001/03/24	芸予地震	6.8	15:27	2	43	消防庁(2002b)
4	2003/05/26	宮城県沖地震	7.0	18:24	0	25	消防庁(2003)
5	2003/07/26	宮城県北部の地震	6.1	7:13	0	51	消防庁(2004a)
6	2003/09/26	十勝沖地震	8.0	4:50	0	69	消防庁(2004b)
7	2004/10/23	新潟県中越地震	6.7	17:56	68	633	消防庁(2009a)
8	2005/03/20	福岡県西方沖地震	6.5	10:53	1	198	消防庁(2009b)
9	2007/03/25	能登半島地震	6.6	9:41	1	91	消防庁(2009c)
10	2007/07/16	新潟県中越沖地震	6.7	10:13	15	330	消防庁応急対応室(2013)
11	2008/06/14	岩手・宮城内陸地震	7.0	8:43	17	70	消防庁(2010a)
12	2008/08/11	駿河湾の地震	6.3	5:07	1	19	消防庁(2010b)
-	2011/03/11	東北地方太平洋沖地震(全域)	9.0	14:46	19,533	700	消防庁災害対策本部(2017)
13	2011/03/11	東北地方太平洋沖地震(内陸)	-	-	404	278	消防庁災害対策本部(2017)
14	2014/11/22	長野県北部の地震	6.3	22:08	0	10	消防庁災害対策本部(2015)
15	2016/04/16	熊本地震	7.0	1:25	211	1,142	消防庁応急対応室(2017)

検討対象とした人的被害予測手法

検討に用いた人的被害予測手法は以下の通りである。なお、これらの被害予測手法は各メッシュの建物被害に基づき算出するが、各メッシュの木造全壊棟数・全壊率は全国概観版地震リスク評価で用いる中嶋・岡田(2008)、非木造全壊棟数・全壊率は中央防災会議(2012)により求めた値を利用することとした。

【死者】

- 東京都(1997)

$$D_{wr} = 0.0315 \times D_{wbr} \tag{3.3.2-1}$$

$$D_{nr} = 0.0078 \times D_{nbr} \tag{3.3.2-2}$$

$$D_n = P_w \times D_{wr} + P_n \times D_{nr} \tag{3.3.2-3}$$

ここで、

D_n : 死者数, D_{wr} : 木造死者率, D_{nr} : 非木造死者率, D_{wbr} : 木造全壊率, D_{nbr} : 非木造全壊率, P_w : 木造建物内滞留人口, P_n : 非木造建物内滞留人口。

- 中央防災会議防災対策推進検討会議南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ(2012)(以降、「中央防災会議(2012)」と称す)

$$D_{wn} = 0.00676 \times D_{wbn} \times \alpha_w \tag{3.3.2-4}$$

$$D_{nn} = 0.00840 \times \left(\frac{P_n}{B_n} \div \frac{B_w}{P_w} \right) \times D_{nbn} \times \alpha_n \tag{3.3.2-5}$$

$$D_n = D_{wn} + D_{nn} \tag{3.3.2-6}$$

ここで、

D_n : 死者数, D_{wn} : 木造死者数, D_{nn} : 非木造死者数, D_{wbn} : 木造全壊棟数, D_{nbn} : 非木造全壊棟数, α_w : 木造建物内滞留率, α_n : 非木造建物内滞留率, B_n : 非木造建物棟数, P_n : 非木造夜間人口, B_w : 木造建物棟数, P_w : 木造夜間人口。

注9: 2003年宮城県北部の地震は7月26日のM6.4の地震の発生時刻を示した。2016年熊本地震は4月16日のM7.3の地震の発生時刻を示した。

- 福島ほか(1997)を補正した手法
福島ほか(1997)は式(3.3.2-7)で示される。しかし、同手法では全壊率がゼロの場合でも0.0054%の死者率が発生するため、全壊率がゼロの場合に死者率もゼロとなるよう補正した。さらに、目視調査に基づく構造的な被害を罹災証明に基づく被害に換算するための係数 a を用いて補正した。 a の値は、小丸ほか(2010)において設定された0.3を利用した。福島ほか(1997)を補正した手法を式(3.3.2-8)(3.3.2-9)に示した。なお、同手法では、構造別に死者率を求め、式(3.3.2-3)と同様に構造別滞留人口を乗じて死者数を算出することとした。

$$D_r = 0.0006 \times D_{br}^2 + 0.0067 \times D_{br} + 0.0054 \quad (3.3.2-7)$$

○ $D_{br} < 3.0\%$ の場合

$$D_r = 0.0103 \times D_{br} \times a \quad (3.3.2-8)$$

○ $D_{br} \geq 3.0\%$ の場合

$$D_r = (0.0006 \times D_{br}^2 + 0.0067 \times D_{br} + 0.0054) \times a \quad (3.3.2-9)$$

ここで、

D_r : 死者率, D_{br} : 建物全壊率, a : 補正係数(=0.3).

【重傷者】

- 中央防災会議(2004)

$$D_{wr} = 0.0309 \times D_{wbr} \quad (3.3.2-10)$$

$$D_{nr} = 0.0309 \times D_{nbr} \quad (3.3.2-11)$$

$$D_n = P_w \times D_{wr} + P_n \times D_{nr} \quad (3.3.2-12)$$

ここで、

D_n : 重傷者数, D_{wr} : 木造重傷者率, D_{nr} : 非木造重傷者率, D_{wbr} : 木造全壊率, D_{nbr} : 非木造全壊率, P_w : 木造建物内滞留人口, P_n : 非木造建物内滞留人口。

- 中央防災会議防災対策推進検討会議南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ(2012)(以降、「中央防災会議(2012)」と称す)

$$D_{wn} = 0.1 \times D_{wbn} \times \alpha_w \times \beta_w \quad (3.3.2-13)$$

$$D_{nn} = 0.1 \times D_{nbn} \times \alpha_n \times \beta_n \quad (3.3.2-14)$$

$$D_n = D_{wn} + D_{nn} \quad (3.3.2-15)$$

ここで、

D_n : 重傷者数, D_{wn} : 木造重傷者数, D_{nn} : 非木造重傷者数, D_{wbn} : 木造全壊棟数, D_{nbn} : 非木造全壊棟数, α_w : 木造建物内滞留率, α_n : 非木

造建物内滞留率, β_w : 建物1棟あたり滞留人口の全建物に対する木造建物の比率, β_n : 建物1棟あたり滞留人口の全建物に対する非木造建物の比率。

年齢区分別補正係数

地震による死者には高齢者が多いことはよく知られており、今後の少子高齢化社会を考えると、リスク評価に高齢化の影響を反映させることが重要と考えられる。そこで、厚生省大臣官房統計情報部(1995)により、1995年兵庫県南部地震において65歳未満と65歳以上の年齢区分における死者率がどの程度異なるのか比較した(表3.3.2-2参照)。

表3.3.2-2 1995年兵庫県南部地震での65歳未満と65歳以上の年齢区分における死者率

項目	65歳未満	65歳以上
兵庫県推計人口年齢区分比率1994.10.1	86.3%	13.7%
震災直接死(人)	3,071	2,399
平均死者率に対する比	0.65	3.19

表3.3.2-2によると65歳以上の死者率は65歳未満の死者率の約5倍高いことが分かる。そこで、検証する死者予測手法は兵庫県南部地震発生時の兵庫県の年齢区分人口比率に依存すると仮定し、別地域や別時期に手法を適用する場合には、式(3.3.2-16)による年齢区分補正係数を乗じることとした。

$$b = 0.65 \times 65 \text{歳未満人口率} + 3.19 \times 65 \text{歳以上人口率} \quad (3.3.2-16)$$

検討方法

「3.3.1 建物被害予測手法の検討」の手法③(木造: 中嶋・岡田(2008), 非木造: 中央防災会議(2012))により求められた各メッシュの建物被害と250mメッシュ別構造別人口データを利用して手法毎の死者数・重傷者数を予測した。本項では人的被害予測の予測精度の確認することを目的としていることから、人的被害予測に用いる建物被害は各地震の実被害と整合するように地震ごとに一律の値で補正をした上で利用した。加えて中央防災会議(2012)は、全壊建物棟数をもとに死者数を求めている。しかし「3.3.1 建物被害予測手法の検討」で利用した建物データは住宅建物のみで非住宅は含まれていない。また、全国概観版リスク評価では非住宅も含めて建物データがモデル化されており(「4.2.1 建物棟数データ」参

照)、全国概観版リスク評価で適用する際は非住宅も含めた形で予測手法が適用されることから、本検討においては中央防災会議(2012)のみ住宅全壊棟数に対して非住宅被害による増加分を加えることとした。具体的には、固定資産の価格等の概要調査(総務省自治税務局, 2016)から求めた住宅に対する非住宅の比率を設定し(表 3.3.2-3 参照)、各メッシュの住宅全壊棟数から非住宅も含めた全壊棟数を推定した上で人的被害の予測に適用した。また、各手法で求めた被害量に対しては年齢区分別補正係数を乗じ、死者・重傷者数を求めた。年齢区分別補正係数の算出に利用した65歳以上人口率は国勢調査の都道府県別の値(表 3.3.2-4 参照)を利用した。

表 3.3.2-3 構造別住宅非住宅棟数と比率

	木造 [棟]	非木造 [棟]
住宅(①)	23,998,017	6,384,977
非住宅(②)	6,995,539	14,216,148
住宅に対する非住宅の比率(②/①)	29.2%	222.6%

表 3.3.2-4 65歳以上人口率と年齢区分別補正係数

No	地震名	65歳以上人口率	年齢区分別補正係数 ^b	65歳以上人口率の出典
1	1995年兵庫県南部地震	14.1%	1.01	1995年国勢調査(兵庫県)
2	2000年鳥取県西部地震	22.0%	1.21	2000年国勢調査(鳥取県)
3	2001年茨予地震	18.5%	1.12	2000年国勢調査(広島県)
4	2003年宮城県沖の地震	19.9%	1.16	2005年国勢調査(宮城県)
5	2003年宮城県北部の地震	19.9%	1.16	2005年国勢調査(宮城県)
6	2003年十勝沖地震	21.4%	1.19	2005年国勢調査(北海道)
7	2004年新潟県中越地震	23.9%	1.26	2005年国勢調査(新潟県)
8	2005年福岡県西方沖地震	19.8%	1.15	2005年国勢調査(福岡県)
9	2007年能登半島地震	20.9%	1.18	2005年国勢調査(石川県)
10	2007年新潟県中越沖地震	23.9%	1.26	2005年国勢調査(新潟県)
11	2008年岩手宮城内陸地震	22.3%	1.22	2010年国勢調査(宮城県)
12	2009年駿河湾の地震	23.8%	1.25	2010年国勢調査(静岡県)
13	2011年東北地方太平洋沖地震	24.3%	1.27	2010年国勢調査(岩手県・宮城県・福島県)
14	2014年長野県北部の地震	30.1%	1.41	2015年国勢調査(長野県)
15	2016年熊本地震	28.8%	1.38	2015年国勢調査(熊本県)

表 3.3.2-5 東北地方太平洋沖地震の死因別死者数

死因	検視等済数	割合
溺死	14308	90.6%
焼死	145	0.9%
圧死・損壊死 ・その他	667	4.2%
不詳	666	4.2%
合計	15786	

死者数・重傷者数の予測結果

各手法による死者数・重傷者数の予測結果と実被害を表 3.3.2-6・表 3.3.2-7 に示す。なお、消防庁の死者数には所謂震災関連死も含まれているが、ここでは揺れによる死者数の予測を目的としていることから、消防庁の被害報から揺れによる死者のみを抽出したデータを実被害として用いた。兵庫県南部地震については、厚生省大臣官房統計情報部(1995)の死因別死者数のうち、焼死・その他・不詳を除いた合計値を揺れによる死者数とした。東北地方太平洋沖地震については、消防庁災害対策本部(2017)の死者数から復興庁ほか(2017)による震災関連死を除いた値に対し、警察庁(2012)から求めた表 3.3.2-5 に示した圧死・損壊死・その他の割合を乗じた値を全域の揺れによる死者数とした。内陸部に関しては、内陸部の全死者数に対する揺れによる死者数の割合に関する情報がないため、ここでは求めていない。熊本地震については、朝日新聞デジタル(2016)の値を利用した。重傷者数は全ての地震について消防庁の被害報の値を利用した。

表 3.3.2-8 には実被害と予測値の誤差について全 15 地震の対数平均と対数標準偏差を示した(東北地方太平洋沖地震は死者数については全域を、重傷者数は図 3.3.1-43 に示した沿岸部の市町村を除外した内陸を対象とした。)。各手法の予測値と実被害を比較した結果を整理すると以下の通りである。

- 死者数については、中央防災会議(2012)と福島ほか(1997)がほぼ同精度となった。両手法ともに兵庫県南部地震では過小評価、東北地方太平洋沖地震や熊本地震では過大評価となる傾向となった。
- 重傷者数については、中央防災会議(2012)と中央防災会議(2004)の実被害との整合性はほとんど変わらない結果となった。兵庫県南部地震や宮城県北部の地震は実被害と比較的整合しているが、東北地方太平洋沖地震や熊本地震は過大評価、その他の実被害の小さい地震で過小評価する結果となった。

表 3.3.2-8 に示した 15 地震による予測誤差(絶対値)の対数平均と対数標準偏差からは、死者数では、中央防災会議(2012)と福島ほか(1997)が誤差が小さく、重傷者数では両手法ともあまり差のない結果となった。そこで、実被害と予測値の誤差の全 15 地

震の平均値をとると、死者数では福島ほか(1997)、重傷者数では中央防災会議(2004)の誤差が小さい結果となった。

以上の点より、全国概観版地震リスク評価の人的被害予測に用いる建物被害関数は、死者数は福島ほか(1997)を補正した手法、重傷者数は中央防災会議(2004)を利用することとした。

表 3.3.2-6 死者数の予測値と実被害

No	地震名	実被害		予測値			被害の典拠
		死者	揺れの死者	東京都(1997)	中防(2012)	福島ほか(1997)	
1	1995年兵庫県南部地震	6,434	4,732	7,566	946	1,369	消防庁(2006)・厚生省大臣官房統計情報部(1995)
2	2000年鳥取県西部地震	0	0	13	3	2	消防庁(2002a)
3	2001年芸予地震	2	2	1	0	0	消防庁(2002b)・損害保険料率算出機構(2001)
4	2003年宮城県沖の地震	0	0	0	0	0	消防庁(2003)
5	2003年宮城県北部の地震	0	0	43	5	6	消防庁(2004a)
6	2003年十勝沖地震	0	0	9	1	1	消防庁(2004b)
7	2004年新潟県中越地震	68	12	114	21	28	消防庁(2009a)
8	2005年福岡県西方沖地震	1	0	10	4	4	消防庁(2009b)
9	2007年能登半島地震	1	0	23	4	5	消防庁(2009c)
10	2007年新潟県中越沖地震	15	10	50	8	9	消防庁応急対応室(2013)
11	2008年岩手宮城内陸地震	17	0	1	0	0	消防庁(2010a)
12	2009年駿河湾の地震	1	0	0	0	0	消防庁(2010b)
13	2011年東北地方太平洋沖地震(全域)	19,533	672	5,439	1,084	1,009	消防庁災害対策本部(2017)・復興庁ほか(2017)・警察庁(2012)
13'	2011年東北地方太平洋沖地震(内陸)	404	-	2,743	599	517	消防庁災害対策本部(2015)
14	2014年長野県北部の地震	0	0	1	0	0	消防庁災害対策本部(2015)
15	2016年熊本地震	211	37	2,877	272	409	消防庁応急対応室(2017)・朝日新聞デジタル(2016)

表 3.3.2-7 重傷者数の予測値と実被害

No	地震名	実被害 重傷者	予測値		被害の典拠
			中防(2004)	中防(2012)	
1	1995年兵庫県南部地震	10,883	10,303	6,433	消防庁(2006)・厚生省大臣官房統計情報部(1995)
2	2000年鳥取県西部地震	39	18	26	消防庁(2002a)
3	2001年芸予地震	43	3	4	消防庁(2002b)・損害保険料率算出機構(2001)
4	2003年宮城県沖の地震	25	0	0	消防庁(2003)
5	2003年宮城県北部の地震	51	63	46	消防庁(2004a)
6	2003年十勝沖地震	69	11	12	消防庁(2004b)
7	2004年新潟県中越地震	833	158	135	消防庁(2009a)
8	2005年福岡県西方沖地震	198	36	41	消防庁(2009b)
9	2007年能登半島地震	91	30	32	消防庁(2009c)
10	2007年新潟県中越沖地震	330	71	77	消防庁応急対応室(2013)
11	2008年岩手宮城内陸地震	70	2	1	消防庁(2010a)
12	2009年駿河湾の地震	19	0	0	消防庁(2010b)
13	2011年東北地方太平洋沖地震(全域)	700	9,120	10,400	消防庁災害対策本部(2017)・復興庁ほか(2017)・警察庁(2012)
13'	2011年東北地方太平洋沖地震(内陸)	278	4,773	5,818	消防庁災害対策本部(2015)
14	2014年長野県北部の地震	10	1	1	消防庁災害対策本部(2015)
15	2016年熊本地震	1,142	3,090	2,928	消防庁応急対応室(2017)・朝日新聞デジタル(2016)

表 3.3.2-8 実被害と予測値の誤差(絶対値)の対数平均と対数標準偏差^{注10}

	死者数		重傷者数	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
東京都(1997)	2.26 (712)	1.69	-	-
中央防災会議(2012)	1.71 (298)	1.45	1.04 (852)	1.08
福島ほか(1997)	1.71 (274)	1.45	-	-
中央防災会議(2004)	-	-	1.06 (536)	1.09

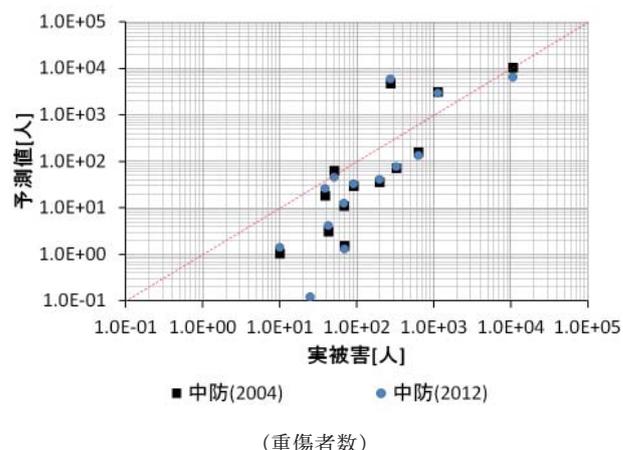
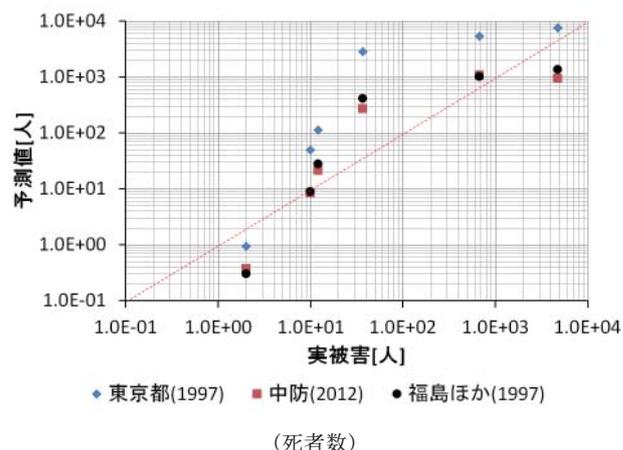


図 3.3.2-1 実被害と予測値の比較

3.4 市区町村単位のリスク評価手法の検討

全国概観版地震リスク評価では、メッシュ単位の建物被害・人的被害に関するリスク評価の他に、市区町村単位のリスク評価も行う。市区町村単位のリスク評価を行う場合、メッシュ単位のリスクカーブを単純加算して市区町村のリスク評価結果とするのも可能であるが、リスク評価に用いられる被害関

注10：表の()内の値は、実被害と予測値の誤差の全15地震の平均値。

数は非線形関数であり、理論的にはハザードカーブのばらつきとリスクカーブのばらつきは異なること、地震動の不確実性には空間的な相関があることが指摘されていることから、ハザードと被害のばらつきとメッシュ単位から市区町村単位への統合に関して検討した。

3.4.1 ハザードと被害のばらつきの検討

(1) 地震ハザードと被害のばらつきの関係

全国概観版地震リスク評価に用いられる確率論的地震動予測地図(地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2014)の地震ハザード評価は地表最大速度(PGV)に基づくものである。確率論的地震動予測地図では、地表最大速度の対数が正規分布(常用対数正規分布)に従う確率変数として仮定されている。そのため、地表最大速度を変換して求められる被害率も確率変数として考える必要がある。

仮に、確率変数の変換が線形であれば、元の確率分布の分布形をそのまま変換することで、確率変数としての被害率の平均やばらつき(標準偏差)を求めることができる。しかし、全国概観版地震リスク評価で用いる被害関数は非線形な関数であり、理論的には、変換後の被害率の従う確率分布もしくはその確率密度関数は、変換前と全く異なる分布形状となる。加えて、変換の関数が複雑なため解析的にその確率密度関数を求めることも困難である。平均や標準偏差は確率密度関数に依存するため、被害率のばらつきを解析的には求めることはできない。

そこで、被害率の平均とばらつき(標準偏差)を近似的に求めることを考えた。これらを近似的に求める方法として、メッシュごとに求められた平均地表最大速度(PGV)を用いて、仮定された分布に従う乱数を発生させ、その乱数を被害率に変換することで疑似確率変数を求めるシミュレーションによる方法が考えられる。しかし、計算時間やシミュレーションによる計算値の不安定性を考慮すると効率的とは言えない。そこで、メッシュの地震動分布の平均値と標準偏差から被害率分布の平均と標準偏差(ばらつき)を推定する関数をあらかじめ構築し、これを各メッシュに対して用いることとした。

(2) メッシュ毎の被害率平均と被害率標準偏差を求める関数

被害率が従う確率密度関数は解析的には求められない。しかし、被害率は被害関数に用いられたパラメータと当該メッシュが受ける地表最大速度(PGV)の平均と標準偏差値に依存している。そのため、被害率が従う確率密度関数はこれらを与えられれば一意に定まる。

そこで、被害関数パラメータ、地表最大速度(PGV)の平均、標準偏差について、それぞれモンテカルロ・シミュレーションを行い、被害率の平均・標準偏差と地表最大速度(PGV)の平均・標準偏差の関係を検討した。シミュレーションの方法は以下の通りである。なお、「3.3.1 建物被害予測手法の検討」より、木造建物の被害関数は中嶋・岡田(2008)、非木造建物の被害関数は中央防災会議(2012)を用いることとする。

- ① 地表最大速度(PGV)の平均 $g\mu_i$ と標準偏差 $g\sigma_j$ について、それぞれ $N(\log(g\mu_i), g\sigma_j)$ に従う N 個の正規乱数を発生させ、確率変数としての地表最大速度を表す数列 $g_{i,j,n}$ とする。なお、平均 $g\mu_i$ については想定される地表最大速度の範囲として、 $i = 1, 2, \dots, 390$ (計 390, 単位: kine), 標準偏差 $g\sigma_j$ については、確率論的地震動予測地図の距離減衰式のばらつきの範囲をカバーする形で、 $j = 0.14, 0.15, 0.16, \dots, 0.22, 0.23, 0.24$ (計 11) とした。
- ② 確率変数としての地表最大速度を表す数列 $g_{i,j,n}$ を計測震度に変換した上で、被害関数の数列 $L_v(g_{i,j,n})$ に変換する。ここで v は木造・非木造区分×建築年代区分(木造:7区分, 非木造:3区分)×地震カテゴリー区分(I II または III の2区分)の計 20 パターンの被害関数の種別を示す。
- ③ 被害関数の数列 $L_v(g_{i,j,n})$ について、 i, j, v ごとに平均 $\mu_{i,j,v}$ と標準偏差 $\sigma_{i,j,v}$ を求める。

一例として、「木造建物、全壊、年代 1971～1980」の被害関数について、地表最大速度(PGV)の平均・標準偏差と被害率の平均の関係をプロットしたものを図 3.4.1-1 に、地表最大速度(PGV)の平均・標準偏差と被害率の標準偏差の関係をプロットしたものを図 3.4.1-2 に示した。これらの結果から、メッシュ別の被害率の平均と分散は滑らかな曲線で表現できることが分かる。

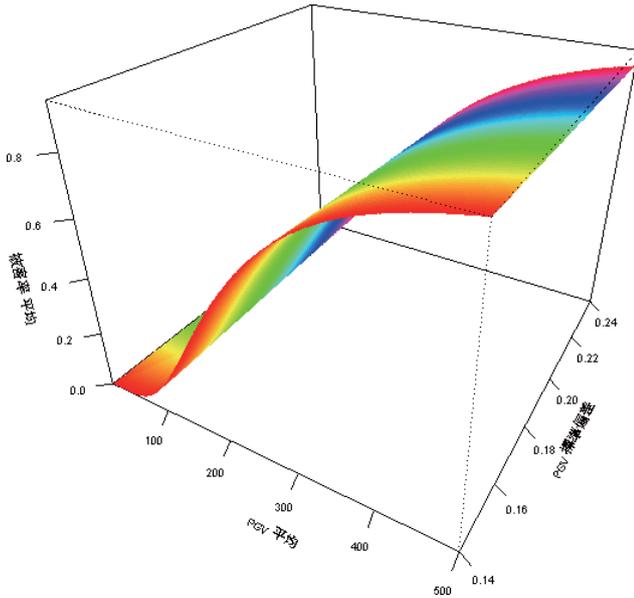


図 3.4.1-1 地表最大速度 (PGV) の平均・標準偏差と被害率の平均の関係 (木造建物, 全壊, 年代 1971 ~ 1980)

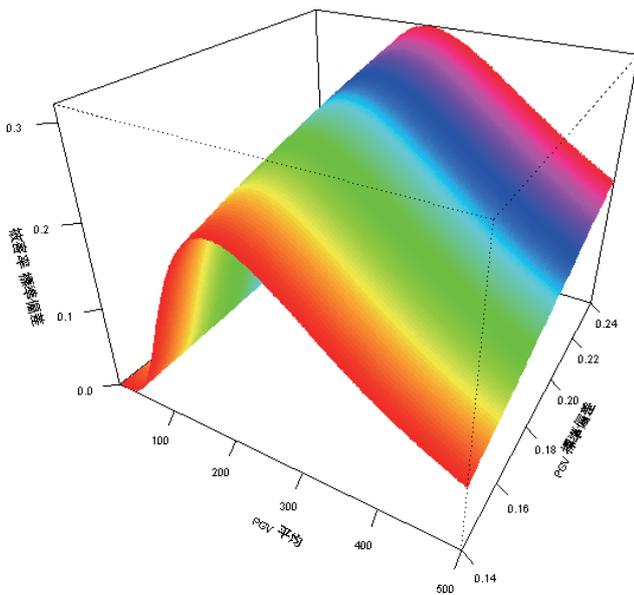


図 3.4.1-2 地表最大速度 (PGV) の平均・標準偏差と被害率の標準偏差の関係 (木造建物, 全壊, 年代 1971 ~ 1980)

次に、この関係を表現する回帰関数を推定する。推定の際、特に標準偏差については、2次形式であることから線形補間は使えない、また、シミュレーションには誤差があることから、シミュレーションの結果が必ずしも真の値を示しているとは限らず、シミュレーションにより得られた値をそのまま補間することは適切ではない。よって、滑らかな関数という仮定の下で関数を推定することを考えた。推定

にあたっては平滑化スプラインを用いた。平滑化スプラインは、データセット $\{Y_i, X_i; i = 1, 2, \dots, n\}$ において式 (3.4.1-1) を最小にする回帰関数である (罰金付最小二乗法)。

$$E_{ss} = \sum_{i=1}^n (Y_i - b(X_i))^2 + \kappa \int \left(\frac{d^2 b(x)}{dx^2} \right)^2 dx \quad (3.4.1-1)$$

ここで、 κ は平滑化パラメータで、滑らかさを調整するパラメータである ($\kappa = 0$ で通常の回帰直線, $\kappa = \infty$ で全ての値を結ぶ線となる)。なお、回帰関数 $b(X_i)$ には、式 (3.4.1-2) に示した 3 次の B スプライン基底関数の線形結合を用いる。

$$b(X_i) = \sum_{j=1}^m a_j \tilde{b}(X_j, X_i, h),$$

$$\tilde{b}(X_j, X_i, h) = \begin{cases} \frac{1}{6h} \left(2 - \frac{|X_i - X_0|}{h} \right)^3 - 4 \left(1 - \frac{|X_i - X_0|}{h} \right)^3 & |X_i - X_0| \leq h \\ \frac{1}{6h} \left(2 - \frac{|X_i - X_0|}{h} \right)^3 & h < |X_i - X_0| \leq h \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.4.1-2)$$

ここで、 X_j は節点と呼ばれ推定する関数全体を分割する小区間の区切り点 (値) で m 個設定される。 h は節点間の距離である。

以上の手法により推定された関数を、被害率の平均用と被害率の標準偏差用に、それぞれ、被害関数 (構造・全壊・全半壊・建築年代区分) 別に、メッシュの PGV の標準偏差 (0.15 ~ 0.23) について 0.01 毎に設定し、メッシュ地表最大速度 (PGV) 平均と標準偏差に応じて当該メッシュの被害率の平均や標準偏差を求めるようにした。

3.4.2 メッシュ単位から市区町村単位への統合

市区町村別リスク評価を行うためには、「3.4.1 ハザードと被害のばらつきの検討」で検討した 250 m メッシュ単位で評価された被害率を市区町村単位に統合する必要がある。市区町村単位への統合は被害率が確率変数であることから、確率変数の和を求めることに相当する。さらに、ばらつき (標準偏差) については、地震動分布に空間相関が指摘されることから、メッシュ間の相関を考慮することとした。以降では市区町村単位への統合の考え方を示す。

(1) 被害率の平均の統合

p 個の統合メッシュの平均 M については、確率変数の和の公式から、メッシュ i の被害率の平均を μ_i とすると、式(3.4.2-1)で表される。

$$M = \sum_{i=1}^p \mu_i \quad (3.4.2-1)$$

実際の計算にあたっては、被害率が率 [0,1] となるように重み w_i (各メッシュ棟数/統合地域の全棟数) を乗じた式 (3.4.2-2) を用いる。

$$\tilde{M} = \sum_{i=1}^p w_i \mu_i \quad (3.4.2-2)$$

(2) 被害率の標準偏差の統合

統合メッシュの標準偏差 S は、メッシュ i の被害率の標準偏差をとすると、確率変数の和の分散 V が式 (3.4.2-3) で表されることから、標準偏差は式 (3.4.2-4) で示される。

$$V = \sum_{i=1}^p \sigma_i^2 + 2 \sum_{i=1}^p \sum_{j=i+1}^p \sigma_i \sigma_j \rho_{ij} \quad (3.4.2-3)$$

$$S = \sqrt{V} = \sqrt{\sum_{i=1}^p \sigma_i^2 + 2 \sum_{i=1}^p \sum_{j=i+1}^p \sigma_i \sigma_j \rho_{ij}} \quad (3.4.2-4)$$

ここで、 ρ_{ij} は地点間の相関係数で [0,1] である。なお、式 (3.4.2-4) の右辺第2項は共分散の項で、 V は以下の $p \times p$ 共分散行列の上三角行列を用いて求められる。

$$\begin{pmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_1 \sigma_2 \rho_{12} & \cdots & \sigma_1 \sigma_p \rho_{1p} \\ & \sigma_2^2 & \cdots & \sigma_2 \sigma_p \rho_{2p} \\ & & \ddots & \vdots \\ & & & \sigma_p^2 \end{pmatrix} \quad (3.4.2-5)$$

無相関の場合は $\rho_{ij}=0$ となるので、共分散の項がなくなり、式 (3.4.2-6) で表される。全相関の場合は $\rho_{ij}=1$ となるので式 (3.4.2-7) で表され、各メッシュの標準偏差の単純和となる

$$S_{cor0} = \sqrt{\sum_{i=1}^p \sigma_i^2} \quad (3.4.2-6)$$

$$S_{cor1} = \sqrt{\sum_{i=1}^p \sigma_i^2 + 2 \sum_{i=1}^p \sum_{j=i+1}^p \sigma_i \sigma_j} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^p \sigma_i\right)^2} = \sum_{i=1}^p \sigma_i \quad (3.4.2-7)$$

空間相関を仮定する場合は、 ρ_{ij} について距離に依存した関数 $\rho(h_{ij})$ を用いて式 (3.4.2-8) のように表すことができる。被害率の平均の統合と同様に、被害率が率 [0,1] となるように重み w_i (各メッシュ棟数/統合地域の全棟数) を乗じた形は式 (3.4.2-9) のように表される。

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^p \sigma_i^2 + 2 \sum_{i=1}^p \sum_{j=i+1}^p \sigma_i \sigma_j \rho(h_{ij})} \quad (3.4.2-8)$$

$$\tilde{S} = \sqrt{\sum_{i=1}^p (w_i \sigma_i)^2 + 2 \sum_{i=1}^p \sum_{j=i+1}^p w_i \sigma_i w_j \sigma_j \rho(h_{ij})} \quad (3.4.2-9)$$

(3) 空間相関の評価

式 (3.4.2-9) の関数 $\rho(h_{ij})$ について考察する。地震動の空間相関については、距離減衰式の残差成分が確率場を構成するものとしてモデル化される。神原・高田 (1996) は、兵庫県南部地震の観測データを用いて最大加速度の空間的な相関特性を分析し、高田・下村 (2003) は台湾集集地震記録を用いて、最大加速度ならびに最大速度の空間的な相関特性を分析している。また、林ほか (2006) は応答スペクトルの空間的な相関特性について分析している。

確率場においては、空間相関 ρ は地点間の距離に依存して減少する関数 $\rho(h)$ として表現される。そしてこれらの研究においては指数関数を当てはめた以下の形式で表わされる。

$$\rho(h) = \exp\left[-\left(\frac{h}{\varphi}\right)\right] \quad (3.4.2-10)$$

ここで、 h は地点間距離 [m]、 φ は相関の及ぶ範囲に応じたパラメータである。なお、 φ については、末富ほか (2007) を参照して 20 km (20,000 m) とした。**図 3.4.2-1** は $\varphi=20,000$ (m) とした場合の距離 h (km) と相関関数 $\rho(h)$ の関係を示した。

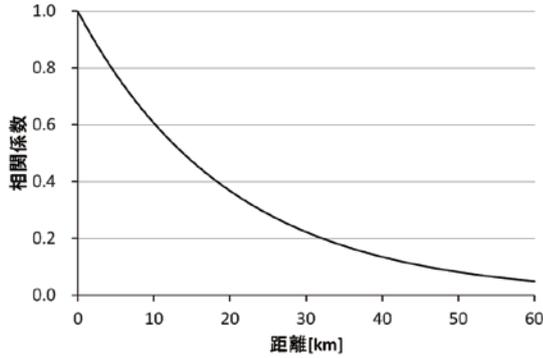


図 3.4.2-1 距離と相関係数の関係

(4) 相関の推定について

実際に空間相関を計算するには、各メッシュ間の距離を求める必要があるが、市区町村内の各メッシュの全ての組合せを考慮する必要がある。全国概観版地震リスク評価において、各メッシュ間の距離を全ての想定地震毎に計算するには計算負荷がかかりすぎる。そこで、式(3.4.2-9)において、相関値を与える本質的な項で、かつ計算時間のかかる平方根内の第2項を式(3.4.2-11)のように R と表した。

$$R = \sum_{i=1}^p \sum_{j=i+1}^p w_i \sigma_i w_j \sigma_j \rho(h_{ij}) \quad (3.4.2-11)$$

この変量 R について、有意に説明できる変量を選択し以下の重回帰式を市区町村ごとに推定した。この推定式を用いることによって変量 R を求め式(3.4.2-9)によって標準偏差を計算した。

$$\hat{R} = a_0 + a_1 S_m + a_2 S_s + a_3 \sum_{i=1}^p (w_i \sigma_i)^2 \quad (3.4.2-12)$$

ここで、 S_m は対象メッシュの標準偏差 ($w_i \sigma_i$) の平均値、 S_s は対象メッシュの標準偏差 ($w_i \sigma_i$) の標準偏差で、 R を説明するのに有意と考えられる変数から、AIC(Akaike's Information Criterion)による変数選択により最も有意となった変数である。なお、係数 a_0 、 a_1 、 a_2 、 a_3 の推定にあたっては、市区町村毎に、最も大きな地震動を与える地震について、その影響範囲の250 mメッシュについて、実際に式(3.4.2-9)による相関関数の計算を行い、これをサンプルとして最小二乗法によって求めた。当てはまりについては、いずれの市区町村においても重相関係数は全市区町村の約99%で0.95以上で、最も小さいところでも0.87であった。

3.4.3 市区町村単位のリスクカーブの計算方法

(1) 被害率分布の仮定

ばらつきすなわち不確実性を考慮したリスクカーブの構築にあたっては、超過確率を求めることができるリスク変数の確率分布を特定する必要がある。これまでの議論から市区町村の被害率は、メッシュごとの被害率の確率変数の和によって求めるが、ある確率変数の和が従う確率分布は加算される前の確率変数の従う確率分布と同じであるとは限らない。一般に、独立な確率変数の和が従う確率分布は、各確率変数の確率密度関数の畳み込み積分で求めることができる。この畳み込みの結果として全く別の分布ではなく同一種類の確率分布となる場合、「再生的」であるというが、再生性については、正規分布、ガンマ分布、負の二項分布について成り立つことが知られているものの、それらの分布であっても確率変数が独立でない場合はこの限りではない。特に、本研究の場合は空間相関を取り入れているので再生性を期待することはできない。また、被害率の関数の確率密度関数も解析的には求められないことから、そもそも明確な確率分布の議論はできない。

しかしながら、統合の結果、確率変数としての和の平均と標準偏差は求められることから、これらを用いて既存の分布を当てはめることによって、リスクカーブを構築することを考える。当てはめる分布については、以下の理由からベータ分布を採用した。

- ① 様々な形の分形状を柔軟に表現できる。
 - ② 確率変数の範囲が $[0,1]$ で無限値をとらないことから被害率を直接表現できる。
 - ③ 平均と変動係数から分布形状が一意に決まる。
- 特に③の理由については重要である。このことは、ベータ分布の形状を特定するパラメータ α と β が、その平均を θ 、分散を η とすると、

$$\alpha = \frac{(1-\theta)}{\left(\frac{\eta}{\theta}\right)^2} - \theta, \quad \beta = \frac{\alpha(1-\theta)}{\theta} \quad (3.4.3-1)$$

で表されることに由来する。このうち α を求める式の第1項の分母の η/θ は「変動係数」と呼ばれ、その確率変数(分布)の相対的なばらつきを表し、スケールの違う集合のばらつきの大きさを比べる指標となる。このことから、ベータ分布は平均 θ と変動係数によって分布形状が一意に決まることがわか

る。この特性は分布形状が未知の分布を対象とする本件のような議論において、その未知の分布がわからなくても、平均とばらつきの相対的な比較という意味においてはその関係が保存されることを意味する。そこで、本研究においては、被害率を表現する確率分布としてベータ分布を仮定することとした。

(2) 被害率分布の計算

確率論的地震動予測地図(地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2014)の地震活動モデルの震源区分ごとに複数の震源地震(以降ではそれらの個々の地震を「イベント」と称す)が存在する。そのため、被害率分布はそれらのイベント毎に以下のステップで求めることとした。

- ① イベント(l)による地震動が予測される市区町村内の全ての250 mメッシュ m において地表の計測震度を求める。具体的には確率論的地震動予測地図の手法に従い、距離減衰式を用いてマグニチュードなどの震源特性と震源断層までの距離から地表での最大速度の中央値 $g\mu_{l,m}$ と評価式に含まれるばらつき(標準偏差) $g\sigma_{l,m}$ を求める(工学的基盤面での最大速度を評価し、表層地盤による最大速度の増幅率を乗じることによって求める)。
- ② 「3.4.1(2)メッシュ毎の被害率平均と被害率標準偏差を求める関数」で求めた関数 $Z_k(g\mu_{l,m}, g\sigma_{l,m})$ を用いて、250 mメッシュ別被害率の平均値 $\mu_{l,m,k}$ と被害率の標準偏差 $\sigma_{l,m,k}$ を求める。
- ③ 250 mメッシュ別被害率の平均値 $\mu_{l,m,k}$ と標準偏差 $\sigma_{l,m,k}$ を式(3.4.2-2)と式(3.4.2-9)を用いて統合し、 \tilde{M}_l と \tilde{S}_l を求める。
- ④ イベント別被害率の平均 \tilde{M}_l 、イベント別被害率の標準偏差 \tilde{S}_l から式(3.4.3-1)を用いてイベント別の全壊率分布 $B_l(\alpha, \beta)$ (ベータ分布)のパラメータ α, β を求める。

(3) リスクカーブの計算

リスクカーブ $EP(x)$ は、ある市区町村におけるイベントを k 、その想定地震による被害率 x の超過確率をベータ分布と仮定し $\beta_k(x)$ とすると、式(3.4.3-2)で表される。

$$EP(x) = 1 - \prod_k \{1 - P_k(x; t)\} \quad (3.4.3-2)$$

ここで、 $P_k(x; t)$ はイベント k によって t 年間に少なくとも1回被害率 x を超過する確率であり、地震発生確率の確率分布の違いにより、以下のように示される。

- 発生確率が t 年間で回数 l 回のBPT分布に基づく $B_k(t, l)$ 場合：

$$P_k(x; t) = B_k(t, l) \cdot [1 - \beta_k(x)]^l \quad (3.4.3-3)$$

- 発生確率が単位期間発生頻度 γ_k のポアソン分布に基づく場合：

$$P_k(x; t) = 1 - \exp\{-\gamma_k \cdot t \cdot \beta_k(x)\} \quad (3.4.3-4)$$

(4) 期待値の計算

各市区町村の期待値については、 $P_k(x; t)$ においてイベントによってBPT分布とポアソン分布の異なる確率分布が仮定されていることから、解析的に求めることはできない。しかし、リスクカーブは被害数量の超過確率をプロットしたものであることから、補確率分布関数として、その超過確率の被害数量による積分値が、確率変数である被害数量の期待値に相当する。よって、被害量 L の期待値 $E(L)$ は式(3.4.3-5)により求められる。

$$E(L) = \int EP(l) dl \quad (3.4.3-5)$$

3.5 まとめ

本章では、全国地震動予測地図(地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2014)に基づく全国概観版地震リスク評価手法の検討を行った。検討結果を整理すると以下の通りである。

- ① リスク評価に適した建物被害関数の検討のため、住宅・土地統計調査と国勢調査地域メッシュ統計を利用し、250 mメッシュ単位の建物構造別建築年代区分別住宅建物棟数データを作成した。
- ② 作成した住宅建物棟数データと強震観測記録から空間補間により推定した面的な地震動分布を利用して、1995年兵庫県南部地震以降の15地震を対象に、既往の建物被害関数の予測精度の検証を行った。推定した建物全壊棟数・全半壊棟数と消防庁の被害報による実被害棟数を比較すると、「木造建物:中嶋・岡田(2008)+非木造建物:中央防災会議(2012)」の組合せによる予測値が実被害と整合する結果となり、これを全国概観版地震リスク評価の建物被害予測に用いる被害関数とした。

- ③ 人的被害についても建物被害と同様 1995 年兵庫県南部地震以降の 15 地震を対象に、既往の被害関数の予測精度の検証を行った。なお、地震による死者率は高齢者が高いことから、1995 年兵庫県南部地震の年齢区分別死者率を用いて補正係数の算出式を構築し、これを既存の被害関数に適用することとした。その結果、死者数については福島ほか(1997)を補正した手法、重傷者数は中央防災会議(2004)が実被害と比較的整合しており、これを全国概観版地震リスク評価の建物被害予測に用いる被害関数とした。
- ④ メッシュ単位の被害予測を統合して市区町村単位のリスク評価を得る方法について検討した。具体的には、地震ハザードと被害のばらつきの関係とについて検討を行い、PGV の平均・標準偏差から被害率の平均・標準偏差を得る回帰式を作成した。また、メッシュ単位の被害率の平均値と標準偏差を利用し、地震動の空間相関を考慮した市区町村単位のリスクカーブの作成方法を検討した。市区町村単位の全国概観版地震リスク評価については、検討した手法に基づきリスク評価を実施することとした。

3.6 参考文献

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—想定地震に基づく被害想定—。

朝日新聞デジタル (2016): 熊本地震、7 割が家屋倒壊で死亡 旧耐震建物が半数超, <http://www.asahi.com/articles/ASJ4Z3T6XJ4ZTIPE00Y.html> (2017 年 3 月 25 日確認)。

防災科学技術研究所: 強震観測網 (K-NET, KiK-net), <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/> (2017 年 3 月 10 日確認)。

防災科学技術研究所川崎ラボラトリー (2007): 文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクト III.1 震災総合シミュレーションシステムの技術の開発 III.2 大都市特性を反映する先端的な災害シミュレーションの技術の開発 公開ソフトウェア。

中央防災会議 防災対策推進検討会議 南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ (2012): 南海トラフの巨大地震建物被害・人的被害の被

害想定項目及び手法の概要。

中央防災会議 首都直下地震専門調査会 (2004): <http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/shutochokkajishinsenmon/index.html> (2017 年 2 月 3 日確認)。

土木学会観測地震記録ダウンロードサイト: http://committees.jsce.or.jp/jsce_download/ (2017 年 3 月 10 日確認)。

藤本一雄・翠川三郎 (2003): 日本全国を対象とした国土数値情報に基づく地盤の平均 S 波速度分布の推定, 日本地震工学会論文集, 第 3 巻, 第 3 号, pp.13-27。

藤本一雄・翠川三郎 (2006): 近接観測点ペアの強震記録に基づく地盤族副度と地盤の平均 S 波速度の関係, 日本地震工学会論文集, 第 6 巻, 第 1 号, pp.11-22。

復興庁・内閣府・消防庁 (2017): 東日本大震災における震災関連死の死者数, http://www.reconstruction.go.jp/topics/main-cat2/sub-cat2-6/20160930_kanrenshi.pdf (2017 年 3 月 25 日確認)。

福島誠志・河田恵昭・西村明儒・林春男・田中聡 (1997): EDA 手法を用いた人的被害の推定法の開発, 地域安全学会論文報告集, Vol.7, pp.52-55。

林孝幸・福島誠一郎・矢代晴実 (2006): 地震動のスペクトル強度の空間的な相関に関する研究, 地域安全学会梗概集, 18, pp.103-106。

地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2014): 全国地震動予測地図 2014 年版 ~ 全国の地震動ハザードを概観して ~, http://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/shm_report/shm_report_2014/ (2016 年 10 月 11 日確認)。

地震予知総合研究振興会 (1999): 強震動評価手法のレビューと事例的検討報告書。

関西地震観測研究協議会 (2004): 関西の地震記録 ~ 関震協観測 10 周年記念 CD-ROM ~。

警察庁 (2012): 東日本大震災による死者の死因等について。

国土地理院 (2000): 平成 12 年 10 月 6 日鳥取県西部地震の断層運動を解明, <http://www.gsi.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/2000-1007-2.htm> (2017 年 3 月 9 日確認)。

- 国土地理院(2001):中国・四国・九州地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 第66巻, pp.486-512.
- 国土地理院(2003a):2003年5月26日宮城県沖の地震に伴う地殻変動について, <http://www.gsi.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/2003-0527.html> (2017年3月9日確認).
- 国土地理院(2003b):平成15年7月26日宮城県北部の地震に伴う地殻変動, <http://www.gsi.go.jp/cais/HENDOU-hendou17.html> (2017年3月9日確認).
- 国土地理院(2003c):「平成15年(2003年)十勝沖地震」に伴う地殻変動, <http://www.gsi.go.jp/cais/HENDOU-hendou18.html> (2017年3月9日確認).
- 国土地理院(2004):平成16年(2004年)新潟県中越地震に伴う地殻変動(第3報), <http://www.gsi.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/2004-1024-3.html> (2017年3月9日確認).
- 国土地理院(2005):福岡県西方地震関連, <http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/FUKUOKAJISHIN/> (2017年3月9日確認).
- 国土地理院(2007a):平成19年能登半島地震断層モデルの概念図, <http://www.gsi.go.jp/common/000040796.pdf> (2017年3月9日確認).
- 国土地理院(2007b):平成19年新潟県中越沖地震 推定された主要な滑り面の概念図, <http://www.gsi.go.jp/common/000040143.pdf> (2017年3月9日確認).
- 国土地理院(2008):平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震の震源断層モデルの概念図, <http://www.gsi.go.jp/common/000043769.pdf> (2017年3月9日確認).
- 国土地理院(2009):平成21年(2009年)8月11日5時7分頃の駿河湾の地震の震源断層モデルの概念図, <http://www.gsi.go.jp/common/000049586.pdf> (2017年3月9日確認).
- 国土地理院(2011):平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動と震源断層モデル, <http://www.gsi.go.jp/cais/topic110422-index.html> (2017年3月9日確認).
- 国土地理院(2016):平成28年熊本地震の震源断層モデル(暫定), <http://www.gsi.go.jp/common/000140781.pdf> (2017年3月9日確認).
- 小丸安史・清水智・藤原広行・河合伸一・森川信之・松山尚典・早川讓(2010):全国地震動予測地図のハザード情報に基づく建物被害リスクおよび人的被害リスクの試算, 第13回日本地震工学シンポジウム, pp.2584-2591.
- 厚生省大臣官房統計情報部(1995):人口動態統計から見た阪神・淡路大震災による死亡の状況.
- 堀江啓(2004):阪神・淡路大震災における木造建物の層破壊被害, 地震ジャーナル, 38, pp.30-41.
- 翠川三郎・伊東佑記・三浦弘行(2011):兵庫県南部地震以降の被害地震データに基づく建物被害関数の検討, 日本地震工学会論文集, 第11巻, 第4号, pp.34-47.
- 村尾修・山崎文雄(2000):自治体の被害調査結果に基づく兵庫県南部地震の建物被害関数, 日本建築学会構造系論文集, Vol.527, pp.189-196.
- 中村洋光・功刀卓・高橋郁夫・藤原広行・青井真・青柳京一・橋本光史・日下彰宏・本間芳則(2015):リアルタイム被害推定・状況把握システムの開発状況, 日本地震工学会 年次大会・国際シンポジウム2015, pp.4-32.
- 中嶋唯貴・岡田成幸(2008):時間軸上の死者低減率最大化を主目標とした木造住宅耐震化戦略の策定:東海・東南海連動型地震を対象とした東海4県への適用事例, 日本建築学会構造系論文集, 第622号, pp.79-86.
- 日本建築学会兵庫県南部地震特別研究委員会・日本建築学会近畿支部耐震構造研究部会(1996):1995年兵庫県南部地震強震記録資料集.
- 大井昌弘・石橋圭太・藤原広行(2010):地震リスク評価のための全国建物分類データベースの開発, 第13回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.1708-1715.
- 岡田成幸・高井伸雄(1999):地震被害調査のための建物分類と破壊パターン, 日本建築学会構造系論文報告集, 第524号, pp.65-72.
- 小澤拓(2014):地震に伴う地殻変動の検出を目的とした緊急観測データの解析, 平成26年度地震SAR解析WG課題別成果報告票, http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/sar/sub/EQWG/EQWGreport_26.pdf (2017年3月9日確認).
- 神原浩・高田毅士(1996):地震動強度のマクロ空間関連特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集,

- pp.225-226.
- 消防庁 (2002a) : 平成 12 年 (2000 年) 鳥取県西部地震 (確定報).
- 消防庁 (2002b) : 平成 13 年 (2001 年) 芸予地震 (確定報).
- 消防庁 (2003) : 宮城県沖を震源とする地震 (確定報).
- 消防庁 (2004a) : 宮城県北部を震源とする地震 (確定報).
- 消防庁 (2004b) : 平成 15 年 (2003 年) 十勝沖地震 (確定報).
- 消防庁 (2006) : 阪神・淡路大震災について (確定報).
- 消防庁 (2009a) : 平成 16 年 (2004 年) 新潟県中越地震 (確定報).
- 消防庁 (2009b) : 福岡県西方沖を震源とする地震 (確定報).
- 消防庁 (2009c) : 平成 19 年 (2007 年) 能登半島地震 (第 49 報).
- 消防庁 (2010a) : 平成 20 年 (2008 年) 岩手・宮城内陸地震 (第 79 報).
- 消防庁 (2010b) : 駿河湾を震源とする地震 (第 23 報).
- 消防庁応急対応室 (2013) : 平成 19 年 (2007 年) 新潟県中越沖地震 (確定報).
- 消防庁応急対応室 (2017) : 熊本県熊本地方を震源とする地震 (第 98 報).
- 消防庁災害対策本部 (2015) : 長野県北部を震源とする地震 (第 21 報).
- 消防庁災害対策本部 (2017) : 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震 (東日本大震災) について (第 155 報).
- 総務省自治税務局 (2016) : 平成 27 年度 固定資産の価格等の概要調書.
- 総務庁統計局 (1994) : 平成 2 年国勢調査に関する地域メッシュ統計地図.
- 総務庁統計局 (1995) : 住宅・土地統計調査報告 : 平成 5 年.
- 総務庁統計局 (1999) : 平成 7 年国勢調査に関する地域メッシュ統計地図.
- 総務庁統計局 (2000) : 住宅・土地統計調査報告 : 平成 10 年.
- 総務省統計局 (2003) : 平成 12 年国勢調査に関する地域メッシュ統計地図.
- 総務省統計局 (2005) : 住宅・土地統計調査報告 : 平成 15 年.
- 総務省統計局 (2008) : 平成 17 年国勢調査に関する地域メッシュ統計地図.
- 総務省統計局 (2010) : 住宅・土地統計調査報告 : 平成 20 年.
- 総務省統計局 (2013) : 平成 22 年国勢調査に関する地域メッシュ統計地図.
- 総務省統計局 (2015) : 住宅・土地統計調査報告 : 平成 25 年.
- 総務省統計局 : e-Stat 政府統計の総合窓口, <https://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/eStatTopPortal.do> (2016 年 10 月 11 日確認)
- 損害保険料率算出機構 (2001) : 平成 13 年芸予地震調査報告, Risk, No.60, pp.1-14.
- 末富岩雄・石田栄介・磯山龍二 (2005) : 空間補間による地震動分布推定の高精度化のための一検討, 第 28 回土木学会地震工学研究発表会報告集, No.27.
- 末富岩雄・石田栄介・福島康宏・磯山龍二・澤田純男 (2007) : 地形分類とボーリングデータの統合処理による地盤増幅度評価と 2004 年新潟県中越地震における地震動分布の推定, 日本地震工学会論文集, 第 7 巻, 第 3 号, pp.1-12.
- 田畑直樹・岡田成幸 (2006) : 地震時の木造建築物倒壊に伴う死者数推定に向けた棟死亡率関数の提案, 日本建築学会構造系論文集, 第 605 号, pp.71-78.
- 高田毅士・下村哲人 (2003) : 台湾集集地震記録に基づく地震動のマクロ空間相関特性, 日本建築学会構造系論文集, 第 565 号, pp.41-48.
- T. Kanno, A. Narita, N. Morikawa, H. Fujiwara, and Y. Fukushima (2006) : A new attenuation relation for strong ground motion in Japan based on recorded data, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.96, No.3, pp.879-897.
- 東北工業大学・リアルタイム強震観測センター : Strong Motion Array of Local Lots by the Tohoku Institute of Technology Area Network (Small-Titan), <http://smweb.tohtech.ac.jp/> (2017 年 3 月 10 日確認).
- 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.
- 東京都防災会議 (2013) : 南海トラフ巨大地震等

による東京の被害想定報告書.

Wakamatsu, K. and M. Matsuoka (2013) : Nationwide 7.5-Arc-Second Japan Engineering Geomorphologic Classification Map and Vs30 Zoning, Journal of Disaster Research, 8, pp.904-911.

矢来博司（国土地理院）(2014)：地殻活動に伴う地殻変動とその時空間変化の詳細把握，平成26年度地震SAR解析WG課題別成果報告票，http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/sar/sub/EQWG/EQWGreport_26.