

建築構造物の地震被害予測に関する実地調査研究・Ⅱ

—春日井市・小牧市・豊山町を対象とした調査—

原 寛*, 勅使川原 誠司**

Field Work Investigation Research on the Seismic Damage Prediction of Building Structures II

—Investigation for Kasugai City, Komaki City and Toyoyama Town—

Hiroshi HARA * and Seiji TESHIGAWARA **

(Received June 16, 2003)

This paper deals with the seismic damage prediction of Kasugai City, Komaki City and Toyoyama Town. The building attribution material, which is necessary for the calculation of a damage prediction, was obtained by the field work investigation. From the comparison of investigation material and the house ledger data, the effectiveness of this method was described. Five kinds of estimation earthquakes —Noubi, Tokai, Tonankai, Gifu-Ichinomiya and Sanage— were set in order to do the damage prediction using the investigation material, and the damage prediction figures were shown. Additionally, the method and results of the refuge safety evaluation were shown.

Keywords: seismic damage prediction, estimation earthquake, building damage, refuge safety evaluation

1. はじめに

1995年に発生した兵庫県南部地震以後、大都市を対象とした都市災害の研究が多く行われており、内閣府中央防災会議では東海地震・東南海地震の発生および対策が議論されている。内閣府・防災部門の調べによると、都道府県及び政令指定都市の中、大分県以外の自治体で独自の地震被害想定が行われているが、行政界を超える広域エリアの地震被害想定を複数の自治体共同で実施したり、想定地震の設定の整合性を図る等の取り組みはなく、表-1のように被害想定区分は、市町村や町丁目単位、さまざまなメッシュ区分での想定により実施されている。このように被害想定区分は各自治体でバラつきが多く見られ、大都市、政令指定都市以外の地区の情報十分とは言えない。そこで大都市を取り巻く中小都市及び近隣都市を含む広域エリアでの被害予測と避難安全評価を行うことを目的として、被害予測に必要なデータ収集を、前報の春日井市¹⁴⁾に続き小牧市・豊山町を対象に行った。本報ではその調査結果と被害予測、避難安全評価について述べる。

* 清水建設(Shimizu Corporation)

** 建築学科 (Department of Architecture)

表-1 都道府県の地震被害想定区分方法

地震動想定区分		建物想定区分	
区分範囲	都道府県数	区分範囲	都道府県数
250m×250m	3	250m×250m	1
500m×500m	25	500m×500m	5
1km×1km	3	2km×2km	1
2km×2km	1	町丁	5
町丁	2	市町村	24
市町村	1	合計	36
その他	1		
合計	36		

2. 予測手法の概要

東京都の例に倣い対象地区を500m×500mメッシュ区分とする。春日井市・小牧市・豊山町全体では共有地区があるため746地区（単一では春日井市450地区、小牧市323地区、豊山町41地区）となる（図-1）。

手順は以下のとおりである（図-2）。

- (1) 建物、地域データを実地調査により取得する。
- (2) 設定した各想定地震の地震動を計算する。
- (3) (1)の実地調査で得た建物データと(2)の地震動の予測結果より建物被害計算を行う。

- (4) (1)の実地調査から得た人口データと(3)の建物被害予測結果より人的被害の計算を行う。
- (5) (1)の建物データと(3)の建物被害予測結果より火災被害(出火件数)予測を行う。
- (6) (1)の地域データと人口データと(2)の地震動の予測結果より、避難場所、避難者数、避難路を求め避難安全評価を行う。

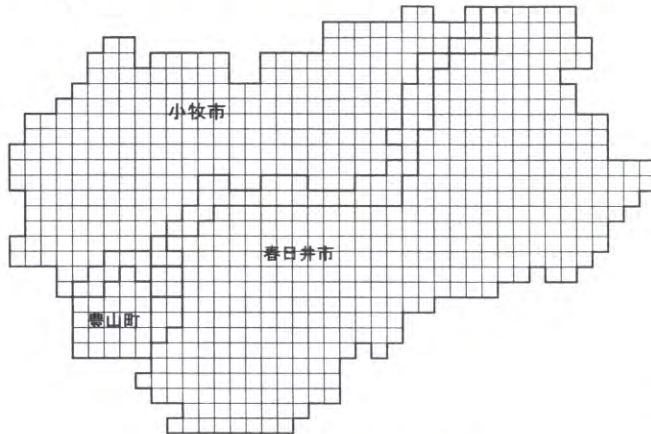


図-1 対象地区 500m×500m メッシュ区分図

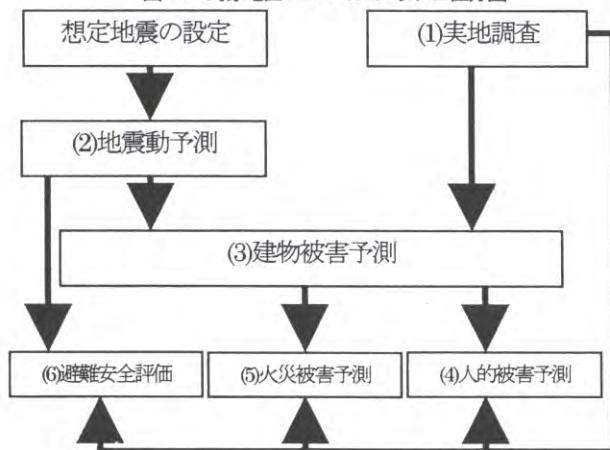


図-2 被害予測手順と項目

3. 実地調査

被害予測のため、震源モデルの設定、地震動の予測、地盤状況、標高、建物属性等のデータ収集を行なった中で、建物属性データについては、対象地区の現状把握をする上で重要な項目となることから、行政の有する家屋台帳(固定資産課税台帳)ではなく、実地調査によるデータ収集で行なった。その理由として、家屋台帳は地方税法により備え付けが定められているが、登記簿謄本より作成されているため、調査年度に建てられた建物や未登記の建物、昭和年代以前の建物は一部掲載されない。愛知県内での閲覧状況は図-3であり、1軒単位で閲覧料を徴収する自治体もあるため費用が膨大になるなど、自治体の協力ができない地域が多い。上記の未登記物件と併せて、必ずしも完全なデータとして使用できないのが現状である。また、実地調査では台帳と現状の相

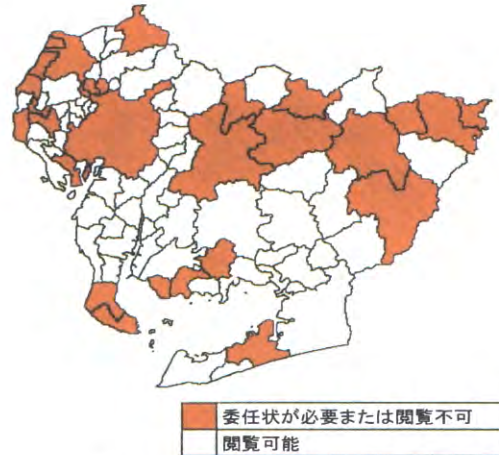


図-3 愛知県内の家屋台帳閲覧状況

違をより実情に合ったもので把握し、500m区分の境界上建物の所属を明瞭化する目的と、避難路及び一次避難可能場所の確保を検討する等、地区居住者が日頃感じる住区の災害危険性に対する意識を予測に反映させる考えもある。建物属性を次の5項目について現地での目視により判定した。

1. 構造…木造・S造・RC造(SRC造含)・その他
2. 用途…戸建・商業・公共・共同・その他
3. 階数…1階・2階・3階以上
4. 築年代…築20年前・後
5. 屋根…瓦・その他

ここで地震による構造物被害や人的被害などの算定を内閣府の『地震被害想定支援マニュアル』²⁾によることを原則とした。構造と築年代については家屋台帳と比較信頼度を検証している。築年代の判別根拠は、兵庫県南部地震における耐震設計基準の改正前と改正後の建築物倒壊率の差を考慮した支援マニュアルの昭和56年以前と57年以降を目安とし、資産耐用年数を考慮に入れたものである。

4. 調査結果及び信頼性

以上の項目で調査した結果、春日井市では全82,181戸、小牧市では全44,133戸、豊山町では全5,089戸となった。対象地域での構造別の割合は図-4、構造・年代別の建物数は

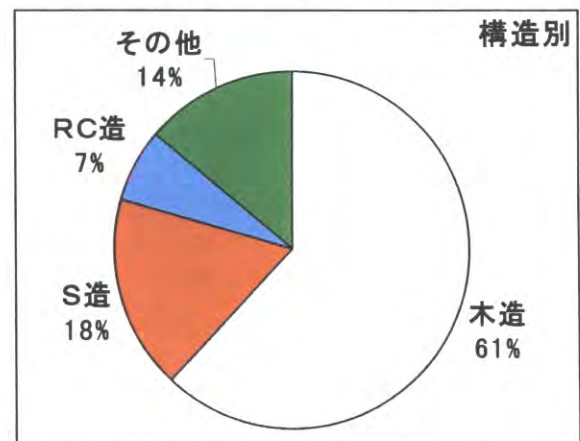


図-4 全地区実地調査結果による構造別割合

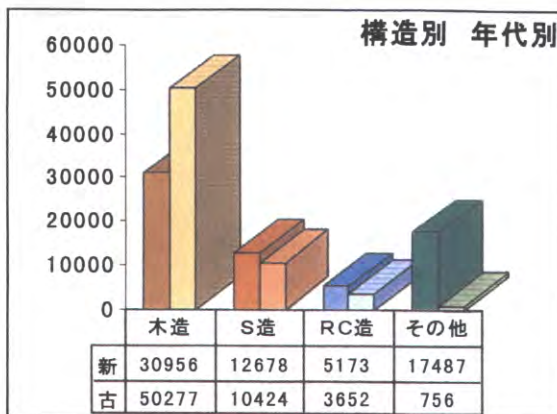


図-5 全地区実地調査結果による建物属性

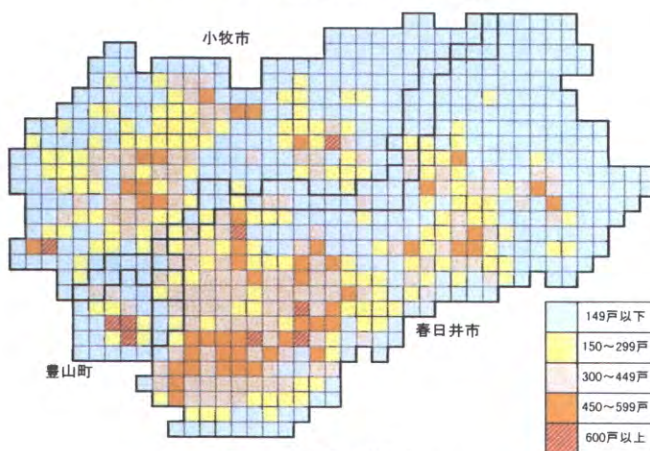


図-6 地区別戸数分布

表-2 実地調査の正答率（実地調査/家屋台帳）

		構造別	年代別	
			±0	±0～2
春日井市	最高	95.5%	86.4%	90.8%
	最低	83.3%	67.2%	76.0%
	平均	90.7%	81.2%	86.8%
小牧市	最高	94.4%	87.2%	91.3%
	最低	85.1%	72.6%	76.9%
	平均	91.5%	81.7%	86.0%

表-3 被害戸数差（戸）（|実地調査-家屋台帳|）

		木造		非木造	
		新	古	新	古
春日井市	最大誤差	0.2	1.7	0.2	0.6
	最小誤差	0.0	0.0	0.0	0.0
	平均誤差	0.1	0.7	0.0	0.1
小牧市	最大誤差	0.1	1.7	0.1	0.8
	最小誤差	0.0	0.1	0.0	0.0
	平均誤差	0.1	0.8	0.0	0.2

図-5となり、木造建物が約6割であり各自治体ともに同じような割合となった。地区別の戸数分布状況は図-6となり、各自治体ともに中心地と春日井市では高蔵寺ニュータウン、小牧市では桃花台に密集地がある。この調査結果の信頼性を確かめた結果が表-2である。春日井市10地区、小牧市10地区を

対象に家屋台帳と実地調査のデータをまとめたもので、構造別では春日井市、小牧市ともに平均90%の正答（一致）率が得られた。また築20年を基準とした年代別の結果は、両市ともに平均80%前後の正答率となり、±2年まで許容すれば、85%程度の正答率となった。同じく、両市のデータで被害予測結果を比較したものが表-3である。これは濃尾級地震M8.0とした時、二つのデータにより木造・非木造建築物の全壊戸数を計算し、その差を示したものである。最大でも建物総数の1%以下の誤差となり実地調査の正答率が80%程度あれば家屋台帳結果と差がなく、実地調査でのデータから行う被害予測の信頼性は十分得られる結果となっている。

5. 想定地震動と被害予測

前節で調査データの信頼性が確かめられたことから、実地調査データを用い被害予測を行った。想定地震としては、濃尾級、想定岐阜—宮断層地震、想定猿投断層地震、想定東海、想定東南海を設定（図-7震源は表-4）し、『地震被害想定支援マニュアル』によって地震動を求め建物、人的、火災被害予測を行った。なお、木造半壊数については、支援マニュアルに含まれていないため、文献³⁾により計算を行った。

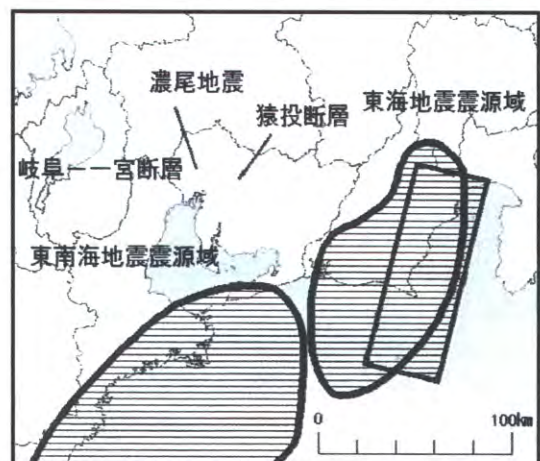


図-7 想定震源域

支援マニュアルは市町村単位の被害予測に用いられるが、予測計算に用いる情報・手法が比較的簡便なことから本研究では500mメッシュ区分に適用して、地区ごとの被害状況の検討を行うことにした。又、上記想定地震の震源を次の様に仮定した。

支援マニュアルによる地震動算定では点震源が最も容易に地区ごとの速度、加速度、震度を計算でき、建物、人的、火災被害予測が出来ることから点震源を採用した（表-4）。濃尾地震は過去の内陸地震では最大級のものであり、現代で発生すれば多大な被害を与えるものと考え、1891年の震源を考えた。岐阜—宮断層は根尾谷断層の延長上と考えられており、濃尾地震時には破壊されていないということから、小牧市が想定した震源と同一のものを考えた。猿投断層は猿投山北断層と猿投—境川断層の

濃尾地震 M8.0 震度

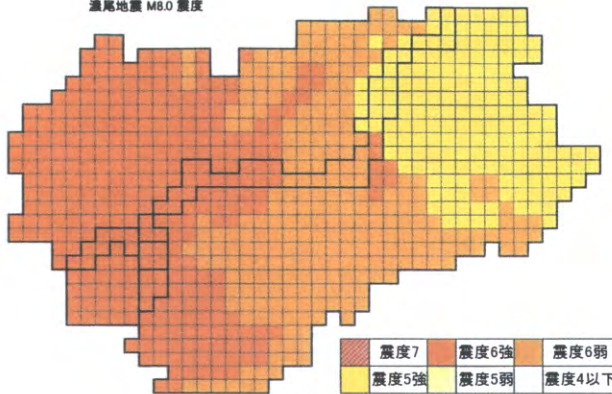


図-8 濃尾地震 M8.0 震度分布図

東海地震(湖西市付近) M8.0 震度

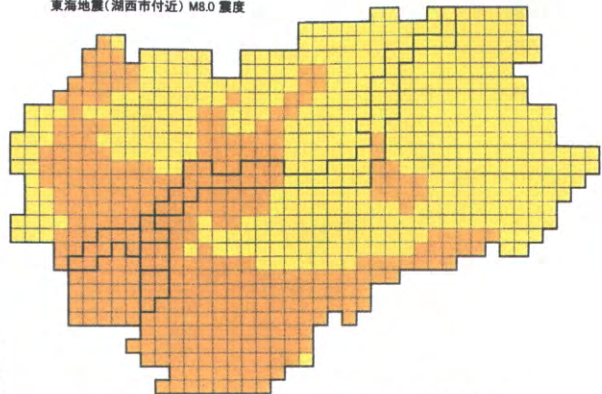


図-9 東海地震(湖西市付近) M8.0 震度分布図

濃尾地震 M8.0 木造半壊数

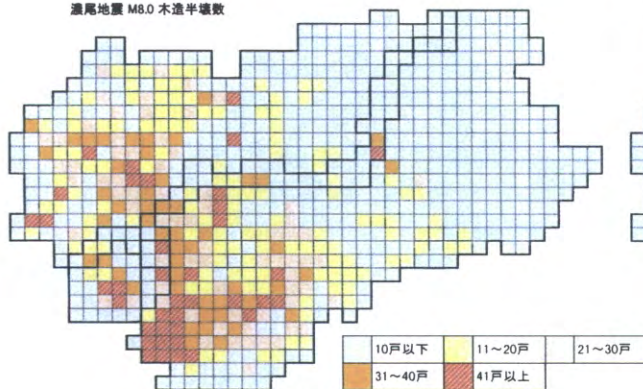


図-10 濃尾地震 M8.0 木造全壊数 区分図

東海地震(湖西市付近) M8.0 木造半壊数

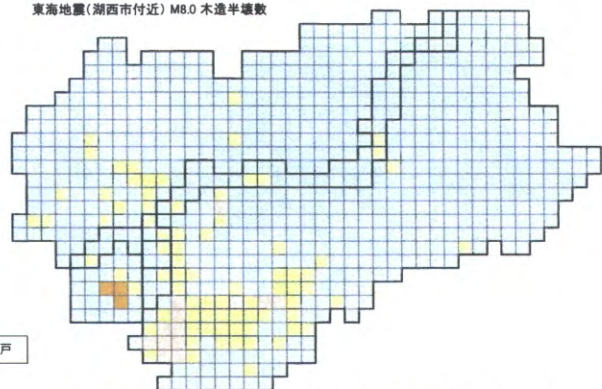


図-11 東海地震(湖西市付近) M8.0 木造半壊数 区分図

濃尾地震 M8.0 重傷者・死者数 早朝

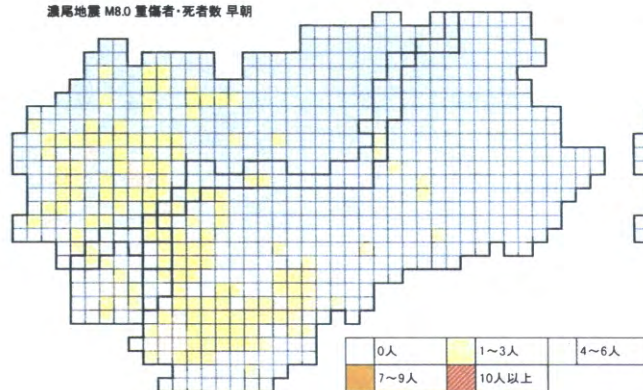


図-12 濃尾地震 M8.0 死者・重傷者数 早朝区分図

東海地震(湖西市付近) M8.0 重傷者・死者数 早朝

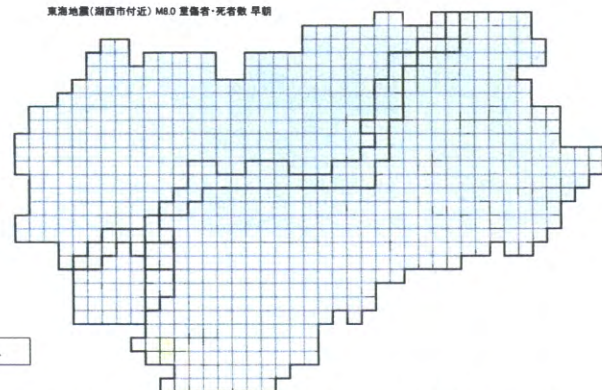


図-13 東海地震(湖西市付近) M8.0 死者・重傷者数 早朝区分図

濃尾地震 M8.0 火災出火件数 冬・夜間

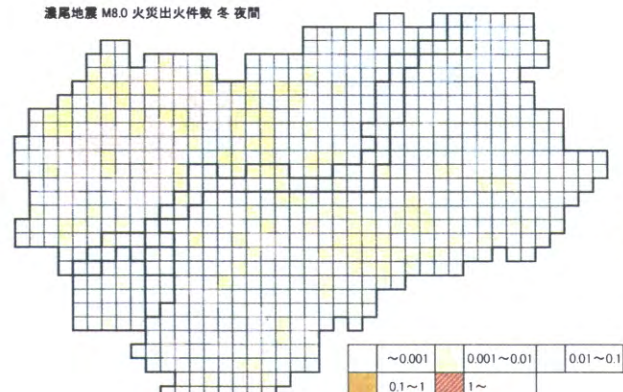


図-14 濃尾地震 M8.0 火災出火件数 冬・夜間区分図

東海地震(湖西市付近) M8.0 火災出火件数 冬・夜間

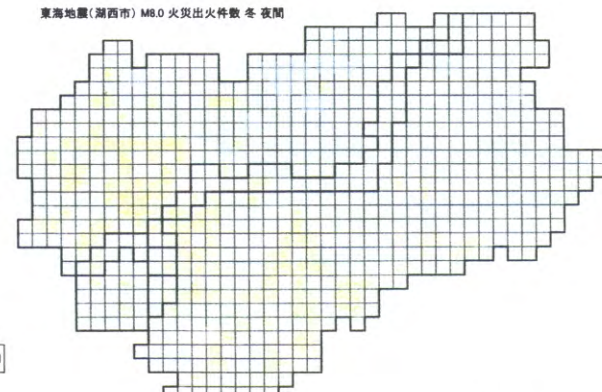


図-15 東海地震(湖西市付近) M8.0 火災出火件数 冬・夜間区分図

表-4 各想定地震の被害予測結果

地震名	震源		地表最大速度	地表最大加速度	震度	全壊数	木造半壊数	死者・重傷者数	火災出火件数	避難者数
濃尾地震 M8.0 (1891年級)	N35° 36' 00" E136° 36' 00" 深さ 30km	春日井市	73.0 kine	1032.0 gal	6.2	1158	4746	180	4	19456
		小牧市	81.2 kine	1163.9 gal	6.3	921	2997	135	3	14826
		豊山町	75.1 kine	1065.1 gal	6.2	176	528	25	0	1885
岐阜―一宮 断層地震 M7.2	N35° 12' 00" E136° 48' 00" 深さ 30km	春日井市	53.6 kine	728.0 gal	5.9	246	1948	8	5	12092
		小牧市	54.5 kine	741.0 gal	5.9	140	1090	0	3	8282
		豊山町	54.5 kine	741.0 gal	5.9	48	247	6	0	943
猿投断層 地震 M7.2	N35° 10' 32" E137° 07' 34" 深さ 10km	春日井市	77.3 kine	1101.4 gal	6.2	1317	5187	229	12	22528
		小牧市	66.2 kine	924.0 gal	6.1	378	1882	25	5	9070
		豊山町	65.2 kine	907.4 gal	6.1	97	379	8	1	1570
東海地震 (湖西市) M8.0	N34° 42' 00" E137° 32' 00" 深さ 30km	春日井市	50.2 kine	676.1 gal	5.8	210	1840	2	1	12243
		小牧市	47.8 kine	638.7 gal	5.8	65	771	0	0	8273
		豊山町	49.6 kine	666.5 gal	5.8	26	182	0	0	943
東海地震 (引佐町) M8.0	N34° 50' 00" E137° 38' 00" 深さ 30km	春日井市	50.2 kine	676.1 gal	5.8	214	1874	2	1	12243
		小牧市	47.8 kine	638.7 gal	5.8	67	808	0	0	8273
		豊山町	49.0 kine	657.1 gal	5.8	26	167	0	0	943
東南海地震 M8.0 (1944年級)	N33° 48' 00" E136° 36' 00" 深さ 30km	春日井市	33.9 kine	433.4 gal	5.5	2	384	0	0	3463
		小牧市	32.8 kine	417.3 gal	5.5	0	171	0	0	1936
		豊山町	33.5 kine	427.9 gal	5.5	3	53	0	0	694

2つの断層があるが、1本の大きな猿投断層と考え、対象地域に距離的に近い直下型地震と想定した。東海地震は当初駿河湾から御前崎沖を含む矩形面が震源域と考えられていたが、平成12年にナス型の震源域に修正された想定地震である。1854年の安政東海地震(M8.4)以来この方面では140年以上大地震が発生していない空白域であるので新震源域内から対象地域までの震央距離が最短の地点と浜名湖近辺(湖西市)を採用した。東南海地震はここ数年注目を浴びてきた地震である。震源域は愛知県も含む形で想定されているが、1600年以降東海沖から紀伊半島沖ではM7.9を越す巨大地震が6回起きていることから本研究では1944年の東南海地震の震源を対象に被害予測計算を行った。

自治体ごとの各被害予測の結果が表-4である。各自治体を比較してみると、春日井市が一番被害の出る結果となったが被害率ではほとんど変わらない結果となった。また、地震動に関しては濃尾地震 M8.0(震央距離約50km)と岐阜―一宮断層地震 M7.2(同 18km)、猿投断層 M7.2(同 16km)が東海地震 M8.0(同 75km)、東南海地震 M8.0(同 120km)の地表最大速度、地表最大加速度よりも大きい結果となり、被害も同様の結果となった。地震動計算では翠川の距離減衰式⁵⁾を用いており、被害計算式が地表最大速度に影響される為震源から距離が近いほど建物、人的被害が多くなり、出火件数もわずかではあるが同じ傾向を示している。人的被害は早朝4時(滞留人口の最も多い時間)の場合であり、予測式に建物全壊率が含まれる為建物被害とほぼ一致しているが、豊山町の一部、古い建物密集地で人口が多い地区に被害の出ることが分かった。火災出火件数は冬季夜間(20時)の場合を示した

もので、内陸型地震の場合に出火する恐れの高いことが分かった。濃尾地震 M8.0と東海地震(湖西市付近)M8.0の震度分布と各被害予測マップを示したものが図-8~15である。図を比べると、物的・人的被害とも対象地区の西側に集中する結果となっている。これは、対象とした3市町地区の東側部分は建物が少なく、密集地でも新耐震設計基準施行後の建物が多く、丘陵地で比較的地盤が安定し、標高の高いことによるものと考えられる

6. 避難安全評価

実地調査で得られたデータを用いて、避難安全評価の手法を提案する。現在、道路閉塞予測や道路被害箇所数算出といった道路被害を予測する手法があるが、演算が複雑であったり、簡易で道路周辺の状況に関係なく一律の計算であったりと問題がある。提案する避難安全評価は、地区に地震に対して建物倒壊や火災により通行不能にならない道路の総距離や地区の避難者数、避難場所、避難距離で評価を行う。



モデル1 モデル2 モデル3

図-16 道路と建物の3つのモデル図

本研究では避難路となり得る道路の条件として、建築基準法では4m以上を道路と定義されていることと、道路を3つのパターン(図-16、両側に建物がある場合、片側に建物がある場合、建物がない場合を示す。)で考え、阪神・淡路大

表-5 震度別道路安全幅員 (m)

モデル	震度5弱 以下	震度5強	震度6弱	震度6強 以上
1	4.0	4.1	5.2	9.9
2	4.0	4.0	4.0	4.4
3	4.0	4.0	4.0	4.0

震災の航空写真⁶⁾より、震度別の道路の被害状況と幅員の関係を調べた結果から避難路に必要な幅員を表-5とした。これを対象地区のメッシュに適用し、避難路の総距離を求める。避難安全評価手順としては、以下のように行う。

(1) 表-5の結果を各地区に適用し、震度別の各地区内の避難路総距離を出す。それより各想定地震の避難路総距離を出す。

(2) 各想定地震の最大速度と避難者比率の関係より、避難者数を出す。

地表最大速度は表-4の結果を用い、避難者数の計算は、地震被害想定支援マニュアルにある次式で行う。

避難者数=避難者比率×人口(昼間or夜間)

(3) 避難場所は指定避難場所以外に、電気・給排水設備の整った公園、幼稚園、公民館等の一次避難場所となり得る施設を考慮し、実地調査で得られたデータを用いる。避難距離については、兵庫県南部地震での東灘区の平均避難距離は720m⁷⁾という結果が得られており、千葉県や静岡市では、それぞれ約700mと1km以内と設定している。本研究では500mメッシュ区分を用いており、避難場所には直線で行ける地区はほとんどないので避難距離は隣接地区までとして評価する。

(4) 以上の結果から項目ごとのポイント(表-6)を出し、避難場所が遠くても避難路が充実していれば避難しやすく、避難者数が多くても避難路が充実し、避難場所が近ければ避難に支障がないという理由から各項目の重要度を3段階に分け、以下の比率を決め避難安全評価を行う⁸⁾。

避難路:避難者数:避難場所・避難距離=3:1:2

自治体ごとの避難者数は表-4になった。建物が倒壊しなくても、ライフラインの被害や余震の可能性があるため、東海地震や南海地震にも避難者数が出ると考えられる。濃尾地震M8.0と東海地震(湖西市付近)M8.0の避難路総距離区分図

(短ければ避難路が少なく危険を示す図)と避難安全評価区分図(ポイントが高ければ避難のし易さを示す図)が図-17~20である。避難路総距離結果からは、東海地震では避難路が多いが濃尾地震では全体的に少なくなる結果となった。このことから、対象地域内で震度が6強以上となる地震に対して、道路整備が出来ていないと言える。また、避難安全評価からは山間部と旧市街地では避難しにくい結果となり、逆に都市部や新興住宅地は道路整備がされているため避難しやすいという結果となった。対象地区では濃尾地震を除いて、全体的に春日井市、小牧市の人口密集地は避難しやすい結果なり、豊山町は若干であるが避難しにくい結果となった。これは、豊山町は狭隘道路が多く、指定避難場所が3箇所しかないことが影響し、今回の評価方法ではこのような結果になったと考えられる。各地区を検証してみると老朽住宅の密集地、幹線道路から距離があり、避難場所が近くにない地区の安全性の問題等住民のイメージ(避難路、避難場所・避難距離、避難者数の重要度)にある程度一致することから信頼性はあるといえる。

7. まとめ

広域エリアで行うための手法としておこなった実地調査による建物データ収集について両者の被害予測を比較した結果、実地調査によるデータ収集からおこなっても良好な結果が得られることがわかった。このことから、地区住民が感じる地域への不安感(又は安心感)を反映した被害予測ができると考えられ、広域エリアでの被害予測に適しているといえる。このデータを用いて被害予測を行った結果、本研究で想定した震源で起こる地震では、東海地震、南海地震よりも内陸の濃尾地震、猿投断層地震に多大な被害が出る結果となった。また、避難安全評価からは、東海地震、南海地震に対しては春日井市・小牧市は比較的整備されているが、豊山町は若干整備が行き届いていないといえる。これは、市よりも予算が少ないため整備ができない現状を示しているのではないかと考えられる。しかし、震度6強以上になると対象地域全域で避難しにくい結果となることから春日井市・小牧市でも十分な対策は必要であると言える。さらには近年東海地震と南海地震の連動発生も注目されており、本報で想定した震源以外での被害予測も重要と考えられるが別の機会に述べることにする。

表-6 避難安全評価ポイント

ポイント	1	2	3	4	5
避難路 総距離	~1000m	1001m ~2000m	2001m ~3000m	3001m ~4000m	4001m~
避難者数	91人~	61人~90人	31人~60人	1人~30人	0人
避難場所 避難距離	隣接する地区 にも避難 場所なし	一時避難場所の ある地区に隣接す る地区	指定避難場所の ある地区に隣接す る地区	一時避難場所 のある地区	指定避難場所 のある地区

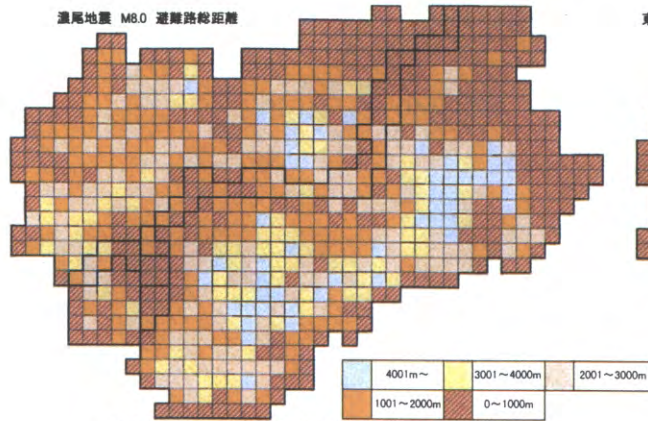


図-17 濃尾地震 M8.0 避難路総距離 区分図

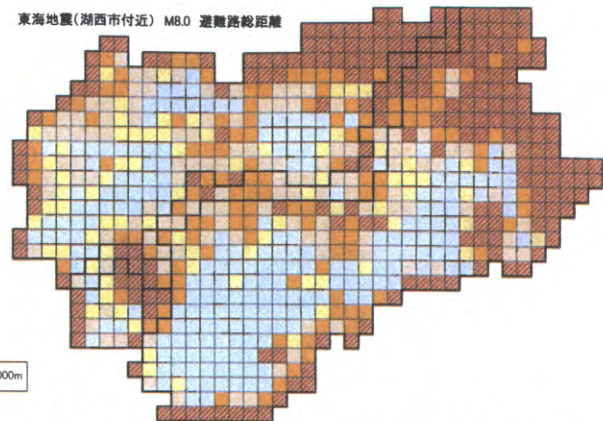


図-18 東海地震(湖西市付近) M8.0 避難路総距離 区分図

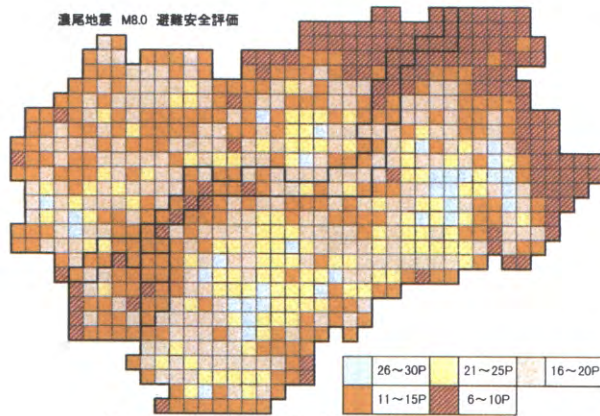


図-19 濃尾地震 M8.0 避難安全評価 区分図

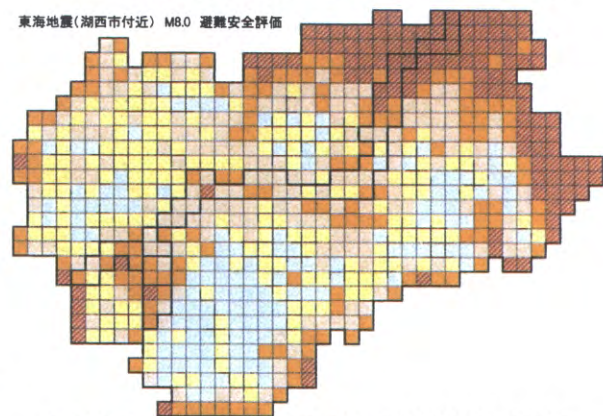


図-20 東海地震(湖西市付近) M8.0 避難安全評価 区分図

最後に、現地調査に協力し、資料整理を担当した卒業研究生諸君に謝意を表します。

参考文献

- 1) 勅使川原, 原, 多田: 中部大学工学部紀要, 第37巻, p33~38, 2001, 12
- 2) 内閣府地震被害想定支援マニュアル. <http://www.bousai.go.jp/manual/manual.html>
- 3) 長谷川, 翠川, 松尾: 建築学会構造系論文集, 第505号, p53~59, 1998, 3
- 4) 勅使川原, 原, 多田: 建築学会東海支部研究報告集, 第39号, p129~136, 2001, 2, 同2001年度建築学会学術講演梗概集構造II, p117~120, 2001, 7.
- 5) Midorikawa: Proc. International Workshop on Strong Motion Data, vol. 2, pp39~48, 1993.
- 6) 神戸新聞総合出版センター-航空写真集阪神・淡路大震災, 1996.
- 7) 今泉, 浅見: 日本建築学会1998年度大会(九州)学術講演梗概集, 797~798, 1998.
- 8) 原: 中部大学工学研究科修士論文, p126~129, 2003, 2.