

平成 26 年度 修士論文

逗子市の詳細な  
地震危険度マップの作成に関する研究

首都大学東京大学院

都市環境科学研究科 都市基盤環境学域

地盤工学グループ 探査工学研究室

学修番号 13885407

氏名 加藤直也

指導教官 小田義也 准教授

# 目次

第1章	序論	1
1.1	背景	1
1.2	目的	1
1.3	本論文の構成と内容	2
第2章	文献調査	4
2.1	詳細法を用いた地震動予測	4
2.2	簡便法を用いた地震動予測	5
2.3	神奈川県による地震被害想定調査	7
2.3.1	地震動予測	9
2.3.2	建物・構造物の被害想定	10
2.4	地震被害推定の課題	14
第3章	建物データベースの構築	15
3.1	土地家屋台帳	15
3.2	ブルーマップ	16
3.3	土地家屋台帳への位置情報付加	17
3.4	土地家屋台帳の地図表示	18
3.5	まとめ	22
第4章	地震動推定手法	23
4.1	対象地域での強震観測	24
4.2	強震動記録	26
4.3	AVS30	28
4.3.1	ボーリング地点の AVS30 の推定	28
4.3.2	微地形区分と AVS30 の関係	29
4.3.3	地震ハザードステーションによる AVS30	30
4.4	常時微動	32
4.4.1	常時微動観測の概要	32

4.4.2 微動 H/V スペクトル比	33
4.5 回帰分析	35
第5章 地震動推定	37
5.1 建物被害の推定手法	37
5.2 事前の被害推定	39
5.3 即時被害推定	48
第6章 結論	50
参考文献	
謝辞	

## 第1章 序論

### 1.1 背景

1995 年の兵庫県南部地震をきっかけに気象庁や自治体の震度観測網や独立行政法人防災科学技術研究所が運営する K-NET など日本全国に地震観測網が整備され、地震発生後すぐに全国の震度分布を市区町村単位で知ることができる。このように日本の地震観測網は世界に類をみないほど高密度で整備されているといえる。しかし、狭い範囲であっても地盤特性が異なれば、地震動は観測点密度以上に局所的に変化し、その結果、局所的な地震被害となる場合もある。また一方で、2011 年の東北地方太平洋沖地震では日ごろの防災教育によりたくさんの命が助かった例があり、改めて自助共助の重要性が認識された。そのため、平成 25 年の災害対策基本法の改正により「地区防災計画制度」が創設され、住民の自発的な防災活動参加に関する規定がなされた。このことから、住民が防災計画を立案できるような個別具体的で、よりミクロな災害情報が必要と考えられる。このことから、多くの自治体では被害想定の見直しが行われており、より住民にわかりやすい身近な情報を示すことが急務となっている。

### 1.2 目的

災害情報は事前に発生する可能性があるものに対し詳細に把握することで、初動計画に活かすことができる。また地震が発生した際にすばやく正確に把握することで初動対応に活用することができる。このように災害情報は、市区町村内の建物の被害状況を即時的かつ詳細に把握することが重要である。そこで、本研究では神奈川県逗子市を対象とした事前の地震被害推定と地震発生後の即時被害推定手法の開発を目的としている。従来の地震動推定手法では深度 30m までの平均 S 波速度(AVS30)を推定地点のパラメータとして用いていることが多いが、本研究では、よりきめ細かく地域性を考慮するために常時微動データを活用する方法を提案する。そして、住民視点のよりミクロな情報として、通常 250m メッシュで行われる地震動推定を最大 50m メッシュで行うとともに、個別の建物情報をデータベース化し、詳細な被害推定を行った。

### 1.3 本論文の構成と内容

本論文は全 6 章で構成されている。

第 1 章では、序論として本論文の背景、目的を述べた。

第 2 章では、文献調査として地震被害推定の現状と課題について述べた。地震動予測には大きく分けると詳細法と簡便法がある。神奈川県による地震被害想定調査に用いられる詳細法は、震源断層モデル、深部地下構造モデル及び表層地盤モデルを設定し、地震動波形を計算する。この方法では、微視的な震源モデルと地下構造モデル、そして表層地盤モデルと必要な情報量が多く取りまとめるのには労力がかかる。また解析には、差分法および統計的グリーン関数法を用いた工学的基盤上での地震動波形の算定と、表層地盤モデルを用いた応答解析を行うため時間を要する。一方、簡便法は過去の観測データから統計的に求まる距離減衰式により、地震規模と震源距離及び表層地盤増幅度を与えることで地震動を予測する経験的手法である。簡便法は即時的に予測ができる一方で、全国平均的な値を用いるため、地域特性を評価しにくい。

第 3 章では、建物データベースの構築について述べた。建物被害推定には建物一軒一軒の情報が必要になるため、逗子市内全家屋（21,383 軒）の地番、構造、用途、階数、建築年のデータベース化を行った。家屋データには土地家屋台帳に記載されているものを用い、建物の位置は住居表示地番対照地図における地番の表記位置とした。

第 4 章では、地震動推定手法について述べた。首都大学東京では、逗子市において露頭基盤上を含む地表 5 地点で強震観測を行っている。本研究では露頭基盤観測点の最大速度に対する推定地点の最大速度の増幅度を目的変数とする回帰式を求めた。説明変数には深度 30m までの平均 S 波速度 (AVS30) と微動 H/V スペクトル比の卓越振動数を用いた。本手法では推定地点の AVS30、微動 H/V スペクトル比の卓越振動数そして露頭基盤の最大速度を入力することで推定地点の最大速度を推定する。AVS30 は、地震動に及ぼす地盤の影響と密接に関係する物理量として知られ、Midorikawa et al.(1994)は千葉県東方沖地震の際に得られた多数の地震記録を用いて、表層地盤の最大速度増幅度と AVS30 の関係式を提案している。微動 H/V スペクトル比は常時微動データをフーリエ変換することで得られる水平動と上下動のスペクトルの比であり、中村(1986)は、微動 H/V スペクトル比の周期特性から地盤の固有周期を推定する手法を提案している。このように、微動 H/V スペクトル比は観測地点固有の情報であり、常時微動観測の観測密度を調整することで、よりミクロな地震動推定を可能にした。本研究においては、空間分解能の高い地震動推定を行うために、災害時に主要な機能を担うと考えられる市役所周辺と主要な街道沿い約 1km にわたり 50m メッシュ毎に高密度な常時微動観測を行った。回帰分析に用いた地震は最も揺れが小さいと考えられる露頭基盤観測点で観測された地震のうち、他の 4 地点でも同時に観測された 23 地震とした。

第 5 章では、本手法を用いた最大速度分布の推定結果から地震時建物被害を定量的に表

した地震危険度マップを作成し既往の方法との比較を行った。最大速度分布は対象とする地震の露頭基盤最大速度と逗子市全域の AVS30、微動 H/V スペクトル比から求め、比較対象は神奈川県地震被害想定調査(2009)と、表層地盤の増幅度を AVS30 のみから求めて算出したものの2手法とした。

第6章では、本研究で得られた成果をまとめ、今後の課題について述べた。

図 1.1 に本研究の流れを示す。

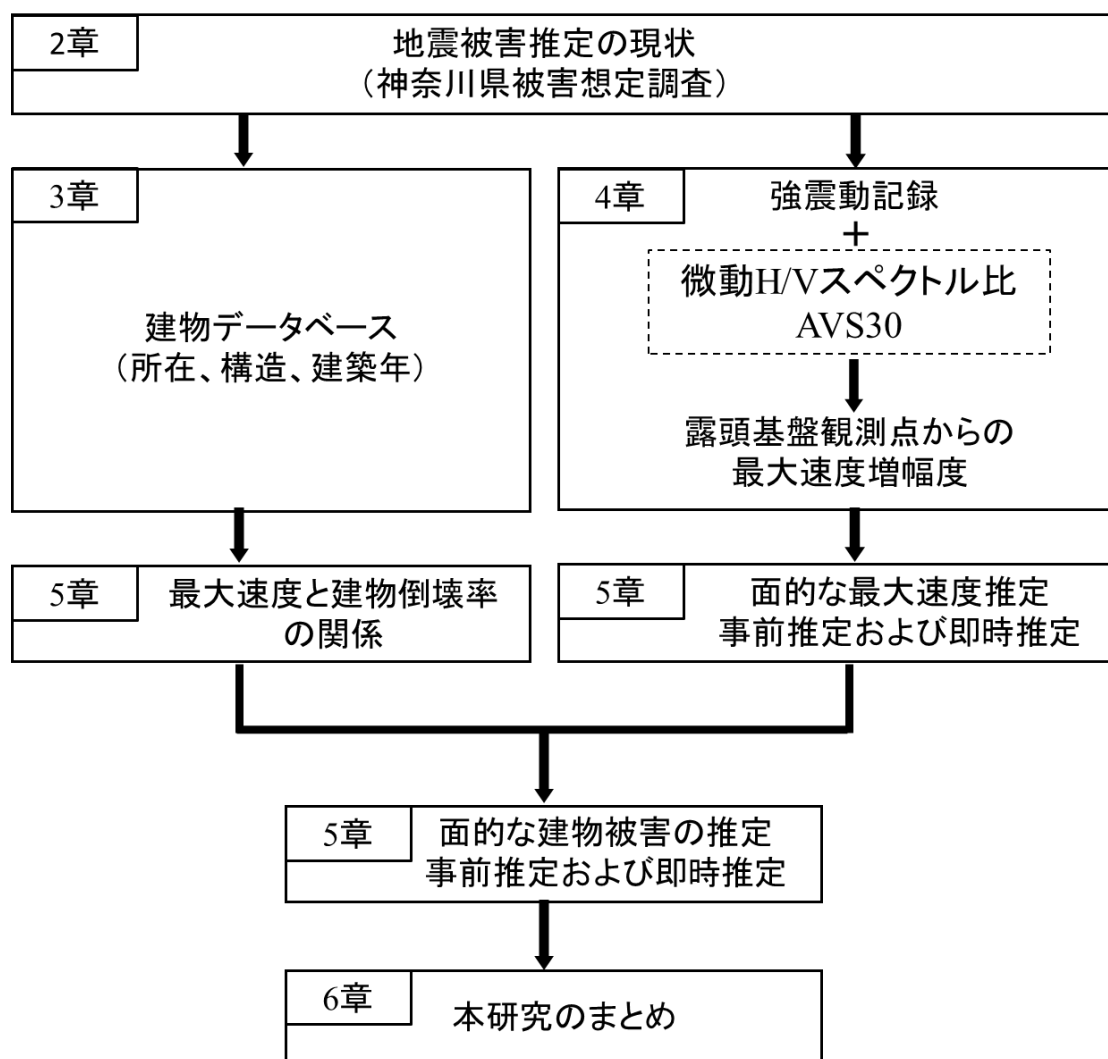


図 1.1 本研究の流れ

## 第 2 章 文献調査

### 2.1 詳細法を用いた地震動予測

詳細法は想定地震の震源モデル及び深部地下構造モデル、表層地盤モデルを設定し地震波の伝播を計算して時刻歴波形を得る手法である。工学的基盤での時刻歴波形の計算法はいくつかあり一般的には経験的グリーン関数法、統計的グリーン関数法、ハイブリッド合成法の 3 手法がある。経験的グリーン関数法は大地震と同じ伝播経路を通ってきたと考えられる中小地震の観測記録をグリーン関数ととらえ、大地震の断層面を小分割し破壊過程に応じて足し合わせることで地震動を評価する。統計的グリーン関数法は先ほどのグリーン関数を断層モデルに基づいた統計的波形として地震動を評価する。統計的グリーン関数法が長周期成分を評価できないという特徴から、短周期成分は統計的グリーン関数法を用い、長周期成分は差分法などの理論計算手法により計算し、マッチングフィルタにより合成する手法のことをハイブリッド合成法と呼ぶ。そしてこれら手法による工学的基盤での時刻歴波形と表層地盤モデルを用いて、地震応答解析により地表の地震動波形を求める。

このように詳細法ではモデルを作成し波動論により計算されるため、震源断層の不均質性、震源の破壊過程、地下構造の影響を反映した地震動を得ることができる。一方で計算に用いる情報量が多いため取りまとめるのに労力がかかり解析にも時間を要する。

## 2.2 簡便法を用いた地震動予測

簡便法とは、過去の地震の観測データから統計的に求まる距離減衰式により地震動を予測する経験的手法である。距離減衰とは地震動が震源から離れると小さくなる現象のことで、その関係を表したものが距離減衰式である。一般的には地震規模や断層からの距離をパラメータとし、予測地点の表層地盤の揺れやすさを示す地盤増幅度と組み合わせて、地震動規模を予測する。これにより断層調査により地震の位置と規模が決まれば、周辺地域でどの程度の揺れが発生するかを把握することができる。また、震源近傍の地震計で観測された震動から震源の位置や地震規模を予測し、そこから各地の地震動を予測する緊急地震速報にも活用されている。

距離減衰式は、震源距離と地震動規模の関係を表す式であるが、震源距離には断層最短距離、等価震源距離などがあり、地震動規模にも計測震度、最大加速度、最大速度などがある。さらには計測機器の特性を補正するためのフィルタリング手法も加えると、距離減衰式の組み合わせは数多く考えられ、実際に様々な距離減衰式が提唱されている。

以下に、緊急地震速報に用いられる司・翠川(1999)の距離減衰式を示す。

$$\log(PGV_{600}) = 0.58M_w + 0.0038D + d - 1.29 - \log(x + 0.0028 \times 10^{0.50M_w}) - 0.002x$$

・  $PGV_{600}$  : 基準基盤(S 波速度 600m/s)での最大速度(cm/s)

・  $M_w$  : モーメントマグニチュード

・  $D$  : 震源深さ(km)

・  $d$  : 地震タイプ別の係数

地殻内地震  $d = 0$

プレート間地震  $d = -0.02$

プレート内地震  $d = 0.12$

・  $x$  : 断層最短距離(km)

この距離減衰式では震源距離を断層最短距離、地震規模を基準基盤での最大速度としている。この距離減衰式による基準基盤での最大速度に表層地盤の増幅度を掛け合わせることで、地表最大速度を予測することができる。表層地盤の増幅度は AVS30(表層 30m の平均 S 波速度)と最大速度の増幅度の経験式が広く用いられる。以下に、Midorikawa et al. (1994)の式を示す。

$$\log G = 1.83 - 0.66 \log AVS30$$

・  $G$  : S 波速度 600m/s 基盤の最大速度に対する地表地盤の最大速度の増幅度

・ AVS30 : 表層 30m の平均 S 波速度(m/s)の推定値



ただし、 $100\text{m/s} < \text{AVS30} < 1500\text{m/s}$

これら、距離減衰式と表層地盤増幅度の推定式を用いることで表層の地震動規模を予測することができ、一度定式化すれば地震発生後すぐに各地の地震動を予測することができる。一方で、全国統一的な値を用いるため地域特性を評価しにくい。

### 2.3 神奈川県による地震被害想定調査

神奈川県では地震防災計画や地震防災諸施策の検討の基礎資料として地震に対する脆弱度を評価する地震被害想定調査を行っている。これは地震学及び地震工学等の最新の知見や技術を用い、神奈川県の自然条件や社会条件を加味して、地震による地震動の大きさや人的、物的被害を想定し公表したものである。地震被害想定調査における想定地震は、表 2.1 の 7 つの地震としている。主な調査項目と流れを図 2.1 に示す。調査内容は、自然条件の被害（地震動、津波、液状化、土砂災害）の調査と社会条件（建物、人口、消防力、ライフライン施設、交通施設）の被害の調査からなる。データの整理には GIS を用いており、単なる結果のみではなく結果の出力までの一連の流れをデータベースに保存し、次回以後の地震被害想定調査にも資するようにしている。

表 2.1 想定地震

No.	想定地震名	マグニチュード (M)	地震タイプ
1	東海地震	8 クラス	海溝型（駿河トラフ）
2	南関東地震（大正型関東地震の再来型）	7.9	海溝型（相模トラフ）
3	神縄・国府津・松田断層帯の地震	7.5 クラス	活断層型
4	三浦半島断層群の地震	7.2	活断層型
5	東京湾北部地震	7.3	南関東直下（プレート境界型）
6	神奈川県西部地震	7 クラス	未解明だが地殻内の浅い地震として設定
7	神奈川県東部地震	7 クラス	プレート境界型

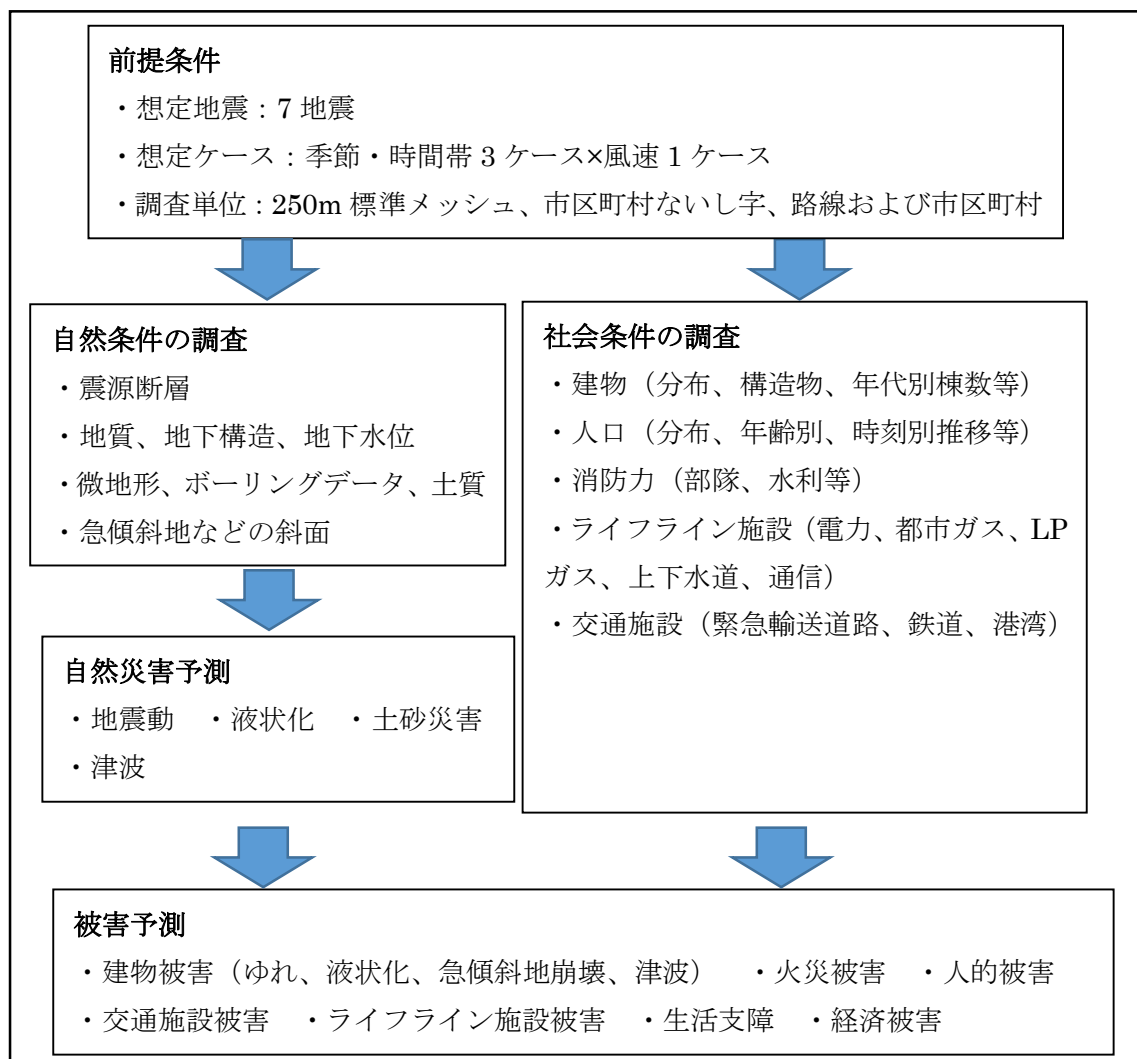


図 2.1 被害想定調査のフロー

### 2.3.1 地震動予測

地震動予測に用いられる手法は、工学的基盤での地震動は全地震に対し詳細法における統計的グリーン関数法による検討と長周期帯域を評価したい地震に対してはハイブリッド合成法での検討も行っている。表層地盤の増幅計算手法は、工学的基盤波形に等価線形法による応答計算を実施し地表波形を計算している。これにより求めた地表波形から、計測震度、地表最大加速度、地表最大速度の算出を行っている。想定結果の例を図 2.2 に示す。

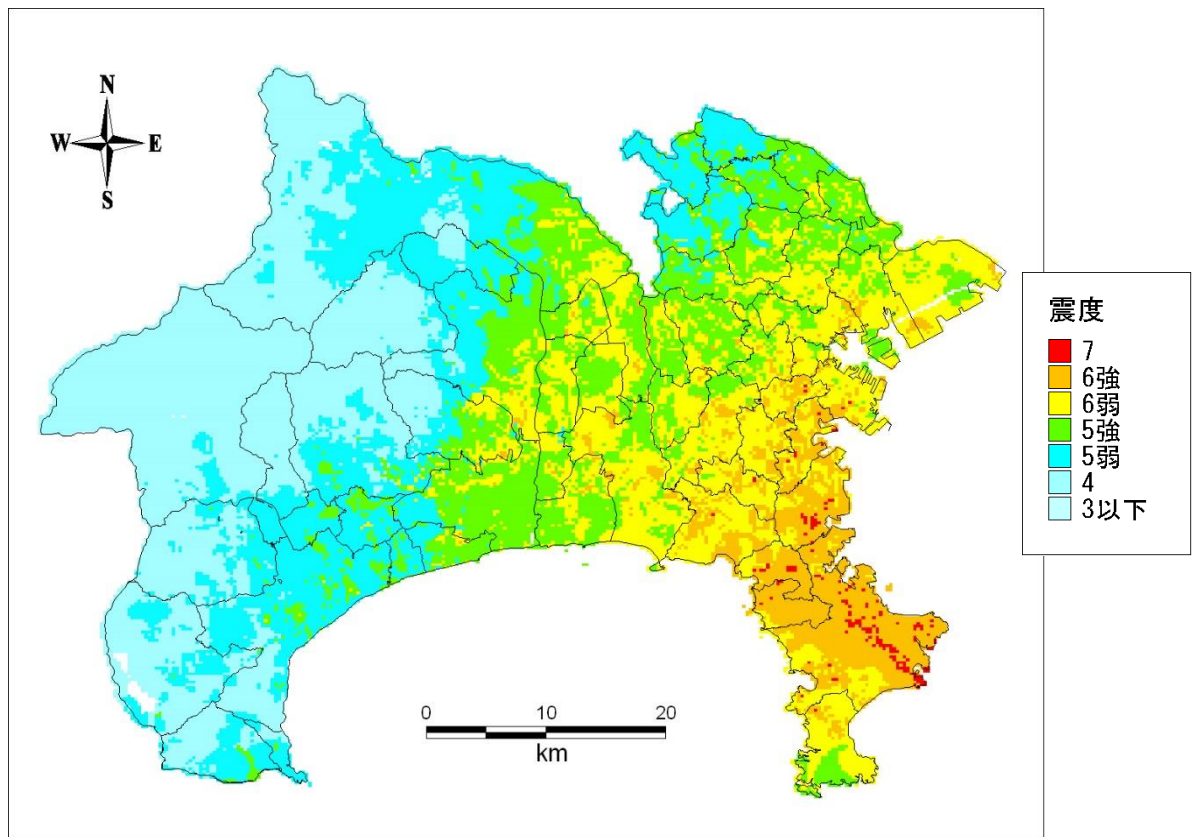


図 2.2 三浦半島断層群の地震による震度分布予測

### 2.3.2 建物・構造物の被害想定

神奈川県は被害想定では、地震動予測結果に基づき、前出図 2.1 のフローに従い地震時の被害想定を行っている。ここでは、地震動による建物の被害想定について述べる。内容は建物データの作成、建物被害の定義、被害予測手法の 3 点である。

#### ・建物データの作成

県内市町村の平成 19 年固定資産税課税台帳データを基に 250m メッシュを単位とした建築年や構造種別の建物棟数データを作成している。構造種別には木造、非木造（S 造：鉄筋造、RC 造）を区分している。図 2.3 に建物棟数分布図を示す。

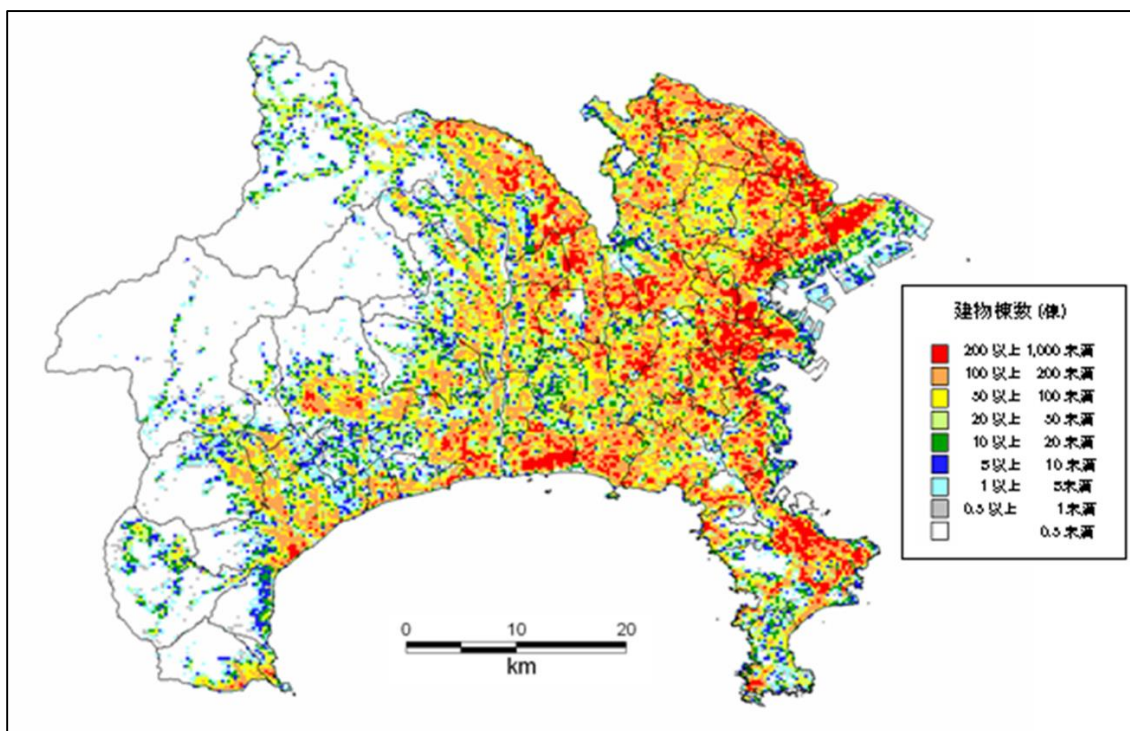


図 2.3 250m メッシュごとの建物棟数分布図

・建物被害の定義

建物被害の基準には、罹災証明に用いられる全壊、半壊（平成 13 年 6 月内閣府政策統括官（防災担当）通知）を基本としている。全壊、半壊の基準を表 2.2 に示す。

表 2.2 罹災証明に用いられる全壊、半壊の認定基準

被害種類	認定基準
住家全壊	住家がその居住のための基本機能を喪失したもの、すなわち、住家全部が倒壊、流出、埋没、焼失したもの、または、住家の損壊が甚だしく、補修により元通りに再使用することが困難なもので、具体的には、住家の損壊、焼失若しくは流出した部分の床面積がその住家の延床面積の 70%以上に達した程度のも、または住家の主要な構成要素の経済的被害を住家全体に占める損害割合で表し、その住家の損害割合が 50%以上に達した程度のもとする。
住家半壊	住家がその居住のための基本的機能の一部を喪失したもの、すなわち、住家の損壊が甚だしいが、補充すれば元通りに再使用できる程度のも、具体的には、損壊部分がその住家の延床面積の 20%以上 70%未満のも、または住家の主要な構成要素の桂税的被害を住家全体に占める損害割合で表し、その住家の損害割合が 20%以上 50%未満のもとする。

・被害予測手法

木造、非木造（S 造、RC 造）別に全壊棟数、半壊棟数を算出している。被害棟数の算出には、被害率曲線を用いている。被害率曲線は、地震動指標と建物被害率の関係を示すものであり、推定された地震動指標から建物被害棟数を算出する際に用いられる。以下に被害率関数を示す。

$$P(PGV) = \Phi \left( \frac{\ln(PGV) - \lambda}{\zeta} \right)$$

- ・  $\Phi$  : 標準正規分布の確率密度関数
- ・  $PGV$  : 地表最大速度
- ・  $\lambda$  :  $\ln(PGV)$  の平均値
- ・  $\zeta$  :  $\ln(PGV)$  の標準偏差

用いる式は 1995 年兵庫県南部地震の被害実態を基本として作成された愛知県防災会議地震部会(2003)による被害率関数としている。図 2.4 に被害予測のフローを、図 2.5 に木造建物の全壊率曲線を示した。図 2.6 に建物被害想定結果の例として、三浦半島断層群での全壊棟数分布を示す。

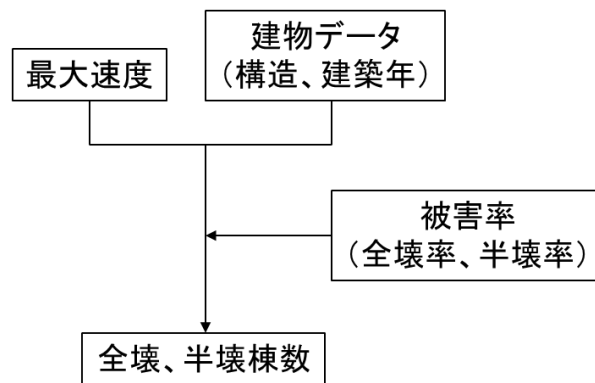


図 2.4 被害予測フロー

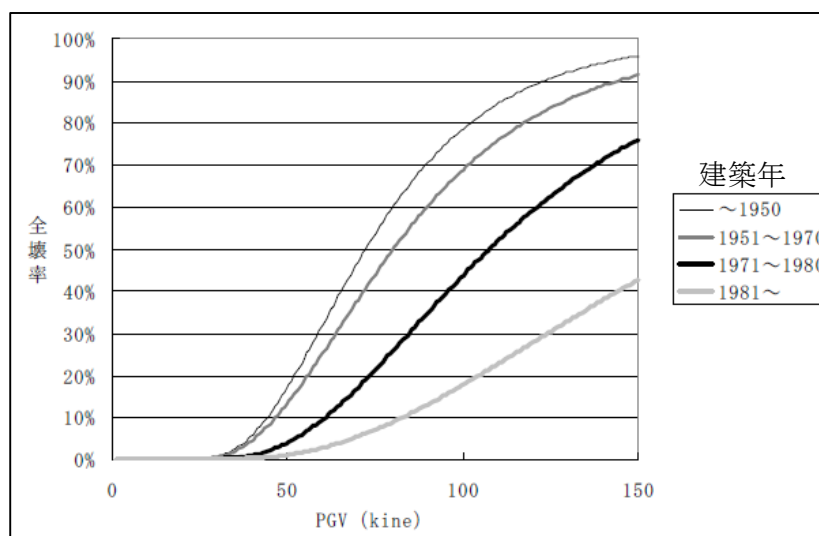


図 2.5 木造全壊率の被害率曲線

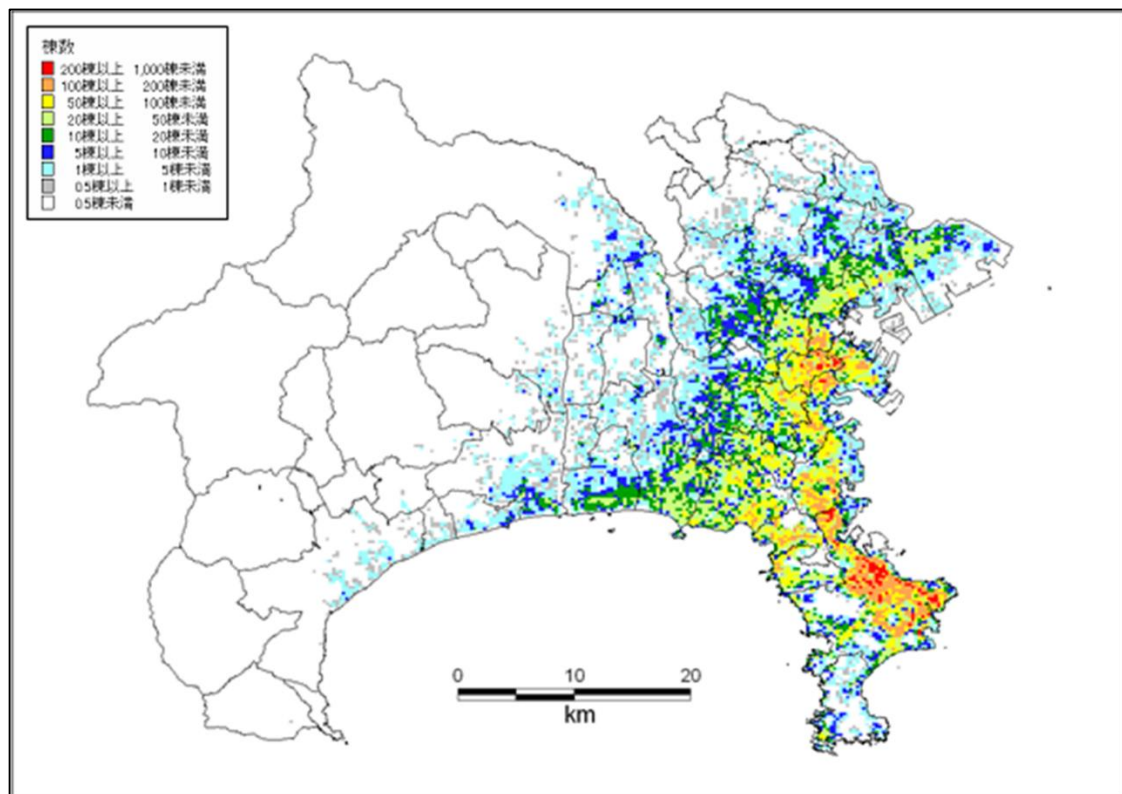


図 2.6 建物の全壊棟数想定図：三浦半島断層群



## 2.4 地震被害推定の課題

神奈川県をはじめ、全国の自治体で行われている地震被害推定では、対象地域を 250m ごとに分割しその区分ごとに想定を行うことが一般的である。しかし、小田ほか(2011)では、東北地方太平洋沖地震での、宮城県石巻市桃生町における建物被害を詳細に調査することで局所的な被害が生じていることを確認し、市区町村という範囲で評価すると地震動による被害を過小評価してしまう可能性について指摘した。図 2.7 に桃生町での建物被害調査結果を 250m メッシュ図と比較して示した。場所は局所的な被害が見られた、桃生総合支所周辺である。このように同じ 250m メッシュ内であっても最大の被害を表す A ランクから、被害なし、もしくは軽い被害を表す F ランクのものが存在することがわかる。町全体の建物の建築年に大きなばらつきが見られないことから、建物被害の原因が局所的な地震動の増幅である可能性についても指摘している。このような観点から、現在の 250m メッシュでの被害想定が必ずしも十分とはいえない。

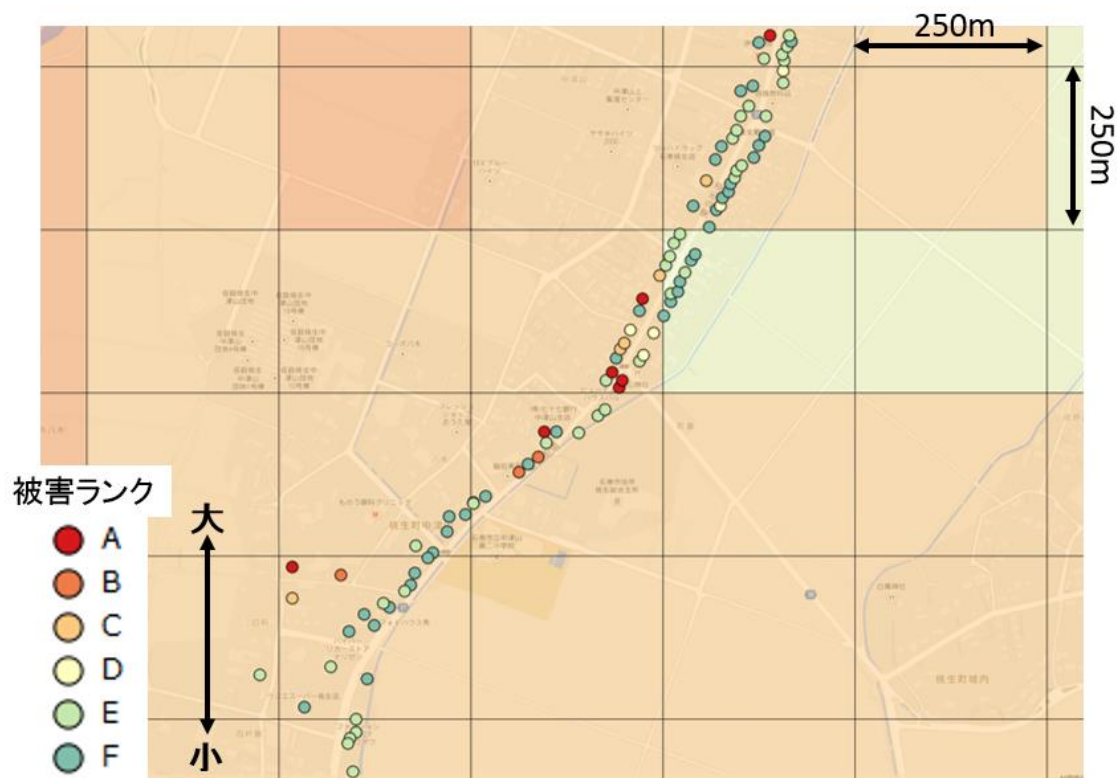


図 2.7 東北地方太平洋沖地震による宮城県桃生町の建物被害調査

第3章 建物データベースの構築

3.1 土地家屋台帳

土地家屋台帳とは、法に定められた不動産（土地および建物）の物理的現況と権利関係について帳簿に記載された不動産登記のことである。逗子市から逗子市内全家屋（21,383 棟）の所在・家屋番号・構造・種類・階数・建築年が登記されている台帳をご提供いただいた。所在は土地の番号である地番により登記されている。表 3.1 に土地家屋台帳を示す。（内容は個人情報であるため、ダミーデータを表示している。）

表 3.1 土地家屋台帳

大字・字	地番 本番	地番 枝1	地番 枝2	家屋番 号本番	家屋番 号枝1	家屋番 号枝2	区分所 有建物	構造 コード	種類 コード	地上 階数	地下 階数	建築年
逗子市逗子1丁目	1	1	0	1	1	0		3	17	3	0	1968
逗子市逗子1丁目	1	1	0	1	1	0		4	38	1	0	1921
逗子市逗子1丁目	1	1	0	1	1	0		4	38	1	0	1951
逗子市逗子1丁目	1	1	0	1	1	0		4	38	1	0	1965
逗子市逗子1丁目	1	1	0	1	1	0		4	38	1	0	1968
逗子市逗子1丁目	1	1	0	1	1	0		4	38	1	0	1968
逗子市逗子1丁目	1	1	0	1	1	0		7	38	1	0	1963
逗子市逗子1丁目	1	1	0	1	1	0		4	17	1	0	1980
逗子市逗子1丁目	1	1	0	1	1	0		7	38	1	0	1968
逗子市逗子1丁目	1	1	0	1	1	0		7	38	1	0	1965
逗子市逗子1丁目	2	1	0	2	1	0	1 区	3	1	6	1	1981
逗子市逗子1丁目	3	1	0	3	1	0	101 区	2	1	10	0	2002
逗子市逗子1丁目	4	1	0	4	1	0	201 区	2	1	10	0	2001
逗子市逗子1丁目	4	3	0	4	3	0		5	1	2	0	1993
逗子市逗子1丁目	5	1	0	5	1	0		3	17	5	0	1972
逗子市逗子1丁目	5	2	0	5	2	0		3	17	2	0	1980
逗子市逗子1丁目	5	2	0	5	2	0		4	161	1	0	1980
逗子市逗子1丁目	5	2	0	5	2	2		1	19	2	0	1978
逗子市逗子1丁目	5	4	0	5	4	0		4	24	4	0	1997
逗子市逗子1丁目	5	5	0	5	5	0		4	19	5	0	1991
逗子市逗子1丁目	5	6	0	5	6	0		4	1	3	0	2001
逗子市逗子1丁目	5	7	0	5	7	0		4	17	5	0	1994
逗子市逗子1丁目	5	8	0	5	8	0		4	19	4	0	1987
逗子市逗子1丁目	5	11	0	5	11	0		1	5	2	0	1964
逗子市逗子1丁目	5	11	0	5	11	0		1	5	2	0	1978
逗子市逗子1丁目	5	12	0	5	12	0		5	19	2	0	1968
逗子市逗子1丁目	5	13	0	5	13	0		1	5	2	0	1967
逗子市逗子1丁目	5	14	0	5	14	0		1	1	2	0	1968
逗子市逗子1丁目	5	14	0	5	14	0		1	1	2	0	1975
逗子市逗子1丁目	6	0	0	6	0	0		1	19	2	0	1953
逗子市逗子1丁目	7	0	0	7	0	0		1	1	1	0	1953
逗子市逗子1丁目	7	4	0	7	4	0		4	1	3	0	1994
逗子市逗子1丁目	7	7	0	7	7	0		5	1	3	0	1992
逗子市逗子1丁目	8	1	0	8	1	0		1	1	2	0	1958
逗子市逗子1丁目	8	1	0	8	1	2		1	5	2	0	1967
逗子市逗子1丁目	8	4	0	8	4	0		1	1	2	0	2001
逗子市逗子1丁目	9	0	0	9	0	0		1	1	2	0	1929
逗子市逗子1丁目	9	2	0	9	2	0		1	1	2	0	1968
逗子市逗子1丁目	9	2	0	9	2	2		1	1	2	0	1988
逗子市逗子1丁目	9	3	0	9	3	0		1	5	2	0	1949
逗子市逗子1丁目	9	3	0	9	3	0		1	5	2	0	1974
逗子市逗子1丁目	9	3	0	9	3	0		1	5	2	0	1976
逗子市逗子1丁目	9	4	0	9	4	0		1	1	2	0	2003
逗子市逗子1丁目	9	6	0	9	6	0		5	1	2	0	2009

区分	コード	コード名称
構造	1	木造
	2	鉄骨鉄筋コンクリート造 (SRC)
	3	鉄筋コンクリート造 (RC)
	4	鉄骨造 (4mm以上)
	5	鉄骨造 (3mm~4mm以下)
	6	軽量鉄骨造 (3mm以下)
	7	コンクリートブロック造
	8	土蔵造
	13	一部非木造
種類	1	専用住宅
	3	アパート
	4	寄宿舎
	5	併用住宅
	10	商業用住宅
	12	普通旅館
	13	料亭
	15	ホテル
	17	事務所
	18	銀行
	19	店舗
	20	劇場
	21	映画館
	22	遊楽場
	23	公衆浴場
	24	病院
	26	工場
	28	倉庫
	29	土蔵
	32	附属家全般
	34	附属家その他
	35	百貨店
	36	市場
	38	その他
	118	グループホーム
	120	キャバレー
	121	ダンスホール
	130	簡易附属一般
	130	附属家一般
	132	簡易附属その他
	133	保養所
	141	簡易旅館
	142	団体旅館
	154	公衆浴場
	161	温泉
区分所有建物	区	区分所有建物

### 3.2 ブルーマップ<sup>o</sup>

ブルーマップとは、住居表示地番対照地図とも呼ばれ、住居表示と地番を併記した地図のことを言う。用途は、いわゆる「住所」から不動産登記の「地番」を検索する際に用いられる。図 3.1 は逗子市ブルーマップデータベース（ゼンリン製）である。データは地番、公図、用途地域、容積率、建ぺい率が格納されている。これに住宅地図データベース（Zmap-TOWN II）を併記させることで住所と地番を検索することができる（図 3.2）。

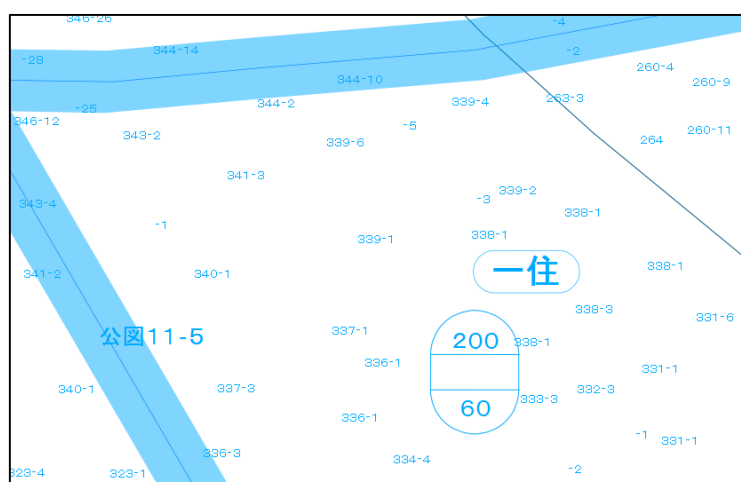
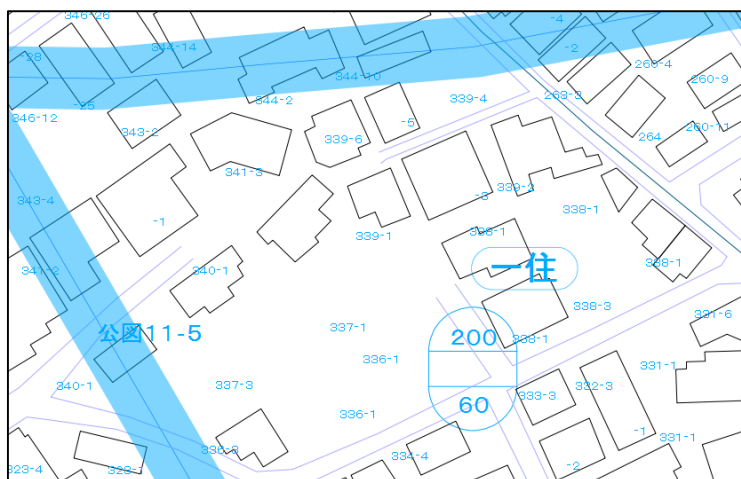


図 3.1 ブルーマップ表示例

図 3.2 ブルーマップ<sup>o</sup>と住宅地図の併記表示例

### 3.3 土地家屋台帳への位置情報付加

土地家屋台帳は各建物の位置を地番により登記しているため、地図上に表記するためには地番の位置情報（座標値）を付加しなければならない。逗子市においては、地番とその位置情報がデータベース化されていないため、ここでは、ブルーマップから該当する地番の位置情報を読み取り、土地家屋台帳の建物一軒一軒に付加した。ただし、位置情報の付加においていくつか問題があったが、それぞれの問題に対して以下のように対応を行った。

【問題 1】地番が分筆や合筆により変更されている場合がある（位置の不確実性）

【対策 1】分筆後も親番が変わらないことから、空間的な大きさを持ったメッシュによる表示によって不確実性を吸収する。今回は 50m メッシュでの表示とした。

【問題 2】ブルーマップデータベース（ゼンリン製）が保持する地番の位置情報は土地の形状ではなく、表示に最適な位置の点情報である

【対策 2】位置情報は地番の図心ではないが、該当する地番内にあることから、そのままの位置情報で整理し、問題 1 と同様にメッシュ表示することで誤差を吸収する。

【問題 3】土地家屋台帳とブルーマップで整合しない地番がある

土地家屋台帳では、登記されたときの地番から更新していないものが存在しており、現在の地番と異なる場合がある。問題 3 については現在確認が取れているものに対してのみ位置情報付加を行った。

### 3.4 土地家屋台帳の地図表示

本研究では土地家屋台帳に登録されている 21,383 棟の建物のうち 18,845 棟に位置情報を付加することができた。この 18,845 棟を、地理情報システム（GIS, QuantumGIS : <http://qgis.org/ja/site/>）上でデータベース化した。図 3.3 は 50m メッシュ毎の建物棟数を構造別に表したものである。

ここで構造の区分は建物被害推定に用いる林・宮腰（1998）の建物被害率曲線の区分から、木造、RC 造、S 造に再分類した。表 3.2 に土地家屋台帳の構造との対応表を示す。

参考として図 3.4 に全建物棟数分布を神奈川県地震被害想定調査報告書に記載されているもの（250m メッシュ）との比較を示す。

表 3.2 構造区分と土地家屋台帳の構造の対応表

木造	1: 木造 13: 一部非木造
RC造	2: 鉄骨鉄筋コンクリート造 3: 鉄骨造(RC) 7: コンクリートブロック造
S造	4: 鉄骨造(4mm以上) 5: 鉄骨造(3mm～4mm以下)

※8：土蔵造に関しては、2 棟のみであるので分類からは除外した。

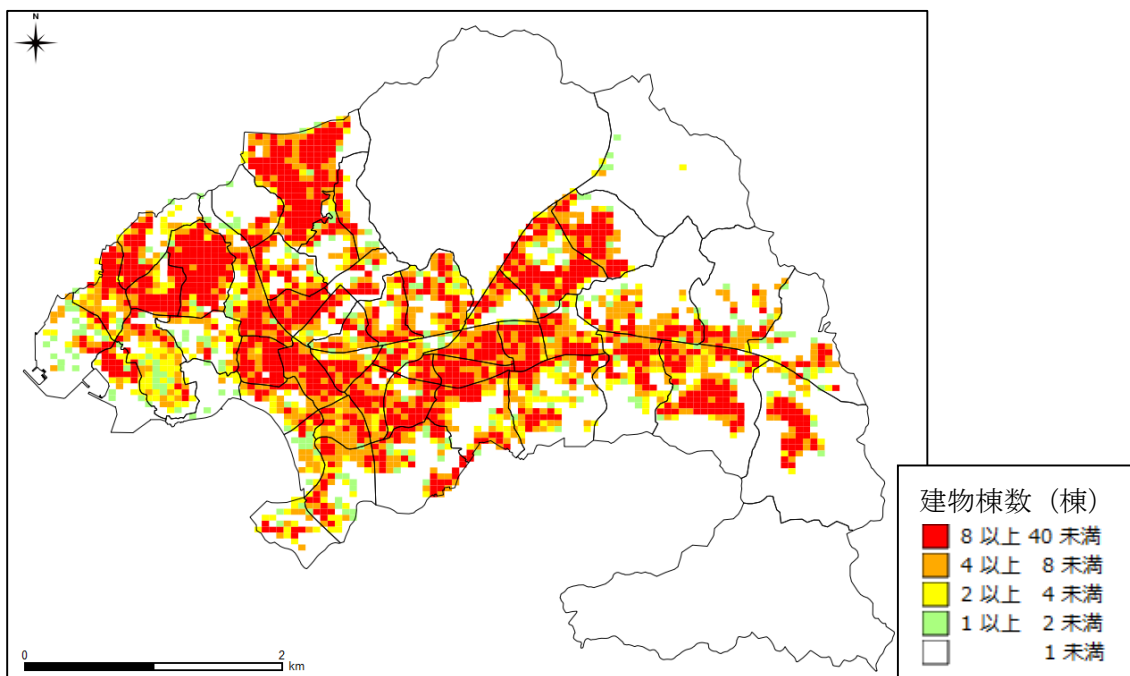
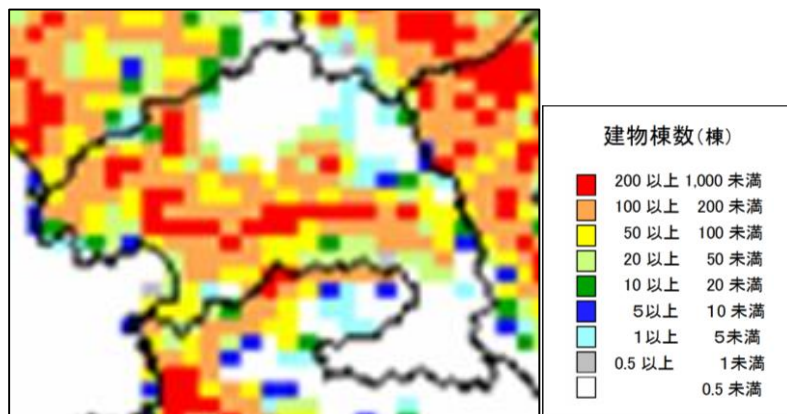


図 3.4 建物棟数分布の比較

上図：神奈川県地震被害想定調査における建物棟数分布図（250m メッシュ）

下図：土地家屋台帳における建物棟数分布（50m メッシュ）

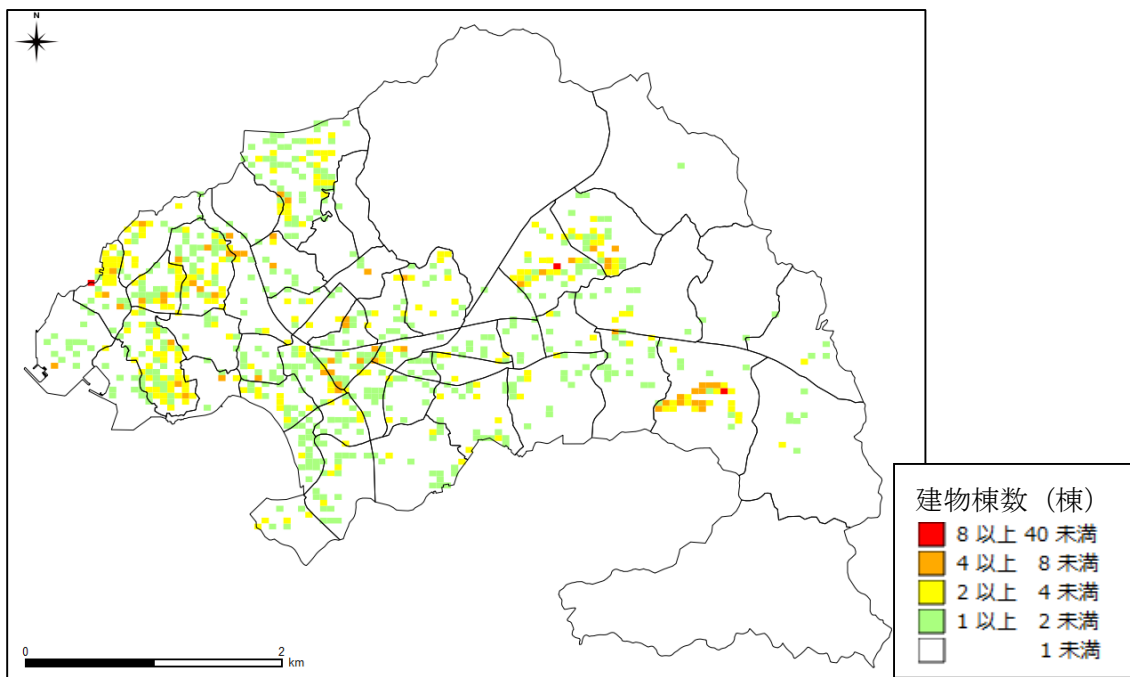
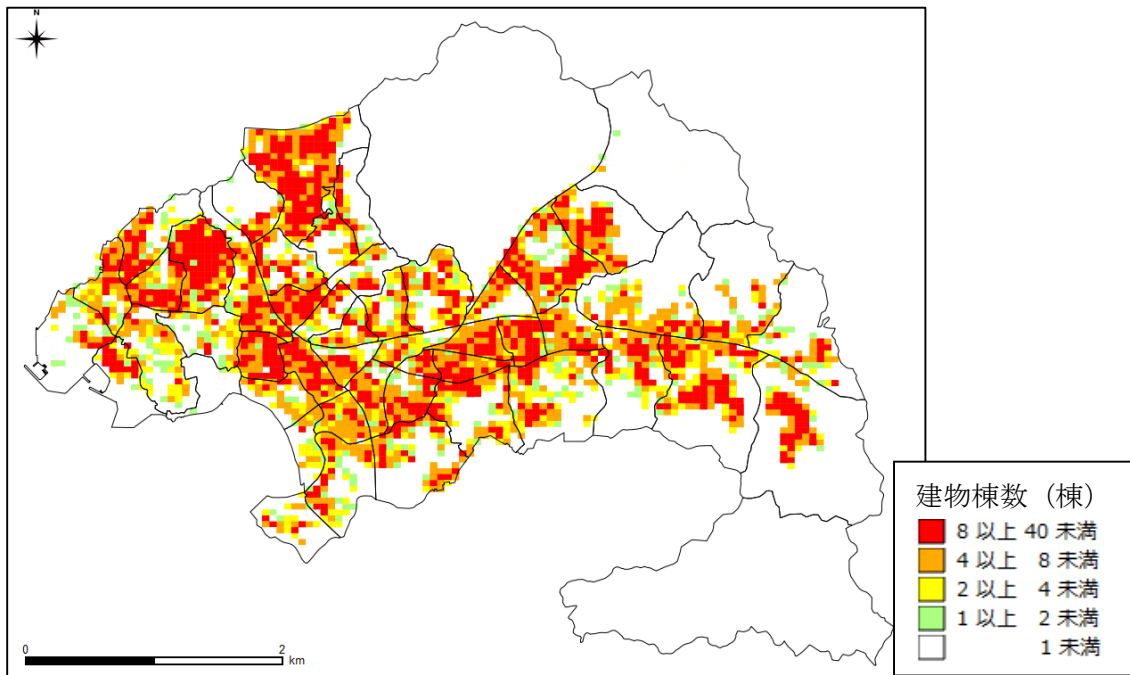


図 3.3 構造別棟数分布の比較  
 上図：木造家屋の建物棟数分布  
 下図：RC 造家屋の建物棟数分布図

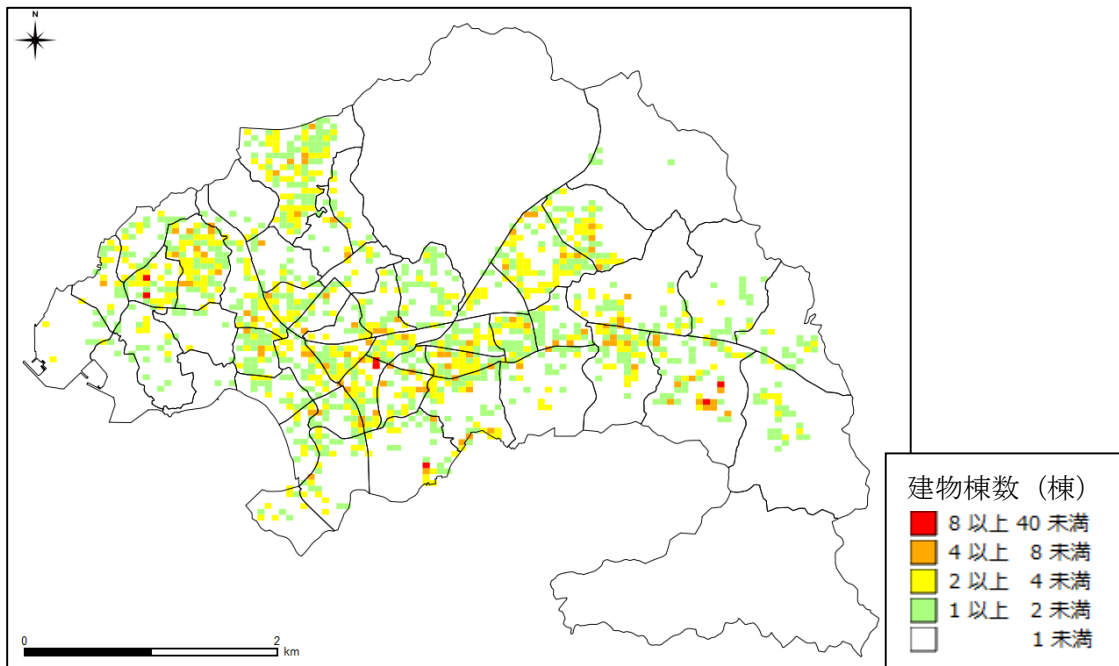


図 3.3 (つづき) 構造別棟数分布の比較  
S 造家屋の建物棟数分布図

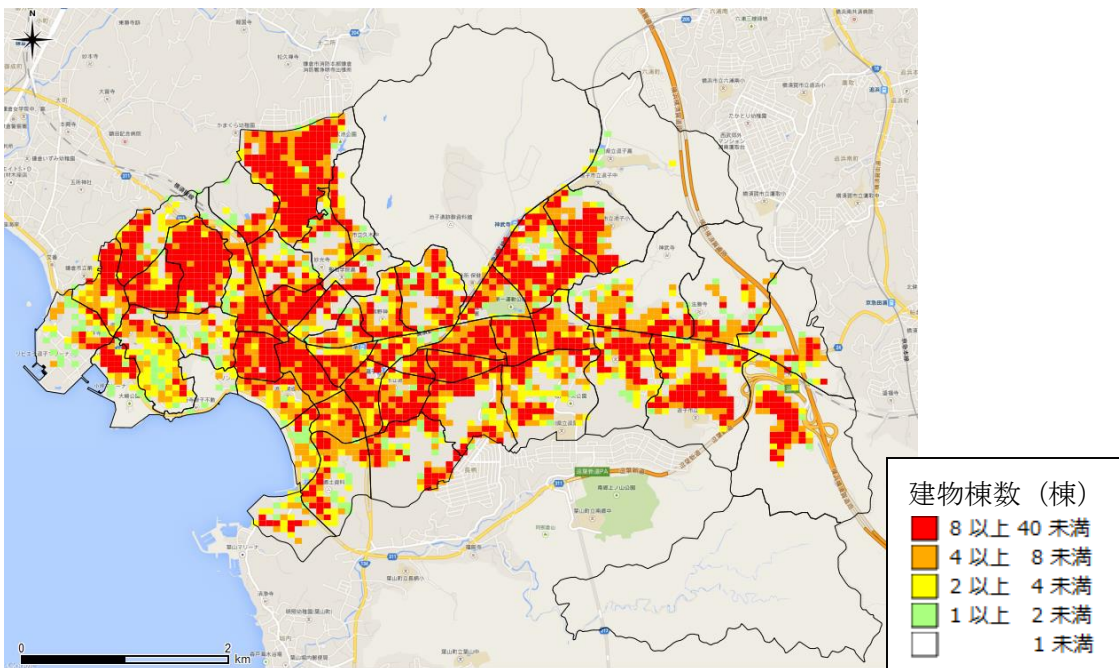


図 3.5 建物棟数分布と地図データの併記



### 3.5 まとめ

土地家屋台帳の各建物の所在は地番により登記されているため、建物を地図に示すためには地番位置を知る必要があった。そのためブルーマップを用いて地番位置を家屋データベースに付け加える作業を行った。その結果、土地家屋台帳全棟数 21,383 棟のうち 18,845 棟の地番位置を付け加えることに成功した。しかし、いまだ 2,538 棟（約 12%）の家屋に位置情報が付加されていない。

地番の位置情報はブルーマップによるが、前述の問題点にあるように誤差を含んだものであることに注意が必要である。

土地家屋台帳における建物棟数分布を QGIS を用いて地図上に示し、神奈川県地震被害想定調査における建物棟数分布図と比較すると、分布傾向は一致していることがわかる。これにより、位置情報付加による誤差をメッシュ表示によりおおむね吸収することが出来たといえる。

今回、新たに 50m メッシュでの建物棟数分布を作成することにより、250m メッシュに比べ面積比 25 倍の密度で把握することができている。また、地図データと重ね合わせることで、住宅街に建物が集中して分布していることが確認でき、250m メッシュでは判別できなかった、建物密集箇所も把握することができている(図 3.5)。

## 第 4 章 地震動推定手法

本章では、本研究で用いる地震動推定手法について述べる。地震動推定手法には、大きく分けると詳細法と簡便法がある。詳しくは第 2 章で述べた。本研究では、事前の推定と地震発生後の即時的な推定のどちらも可能な手法とするため、後者の簡便法を改良することとした。簡便法は、距離減衰式と表層地盤の増幅度により表層の地震動規模を算出し、事前の地震動推定や緊急地震速報といった即時推定に用いられる。Midorikawa et al.(1994)は AVS30 と工学的基盤に対する地表最大速度の増幅度の関係式を千葉県東方沖地震の観測記録から算定している。このように AVS30 は表層地盤の増幅度との相関が知られている。しかし、AVS30 の推定式は地質資料や微地形に基づいた全国統一的なものであるため、ローカルな地域での詳細な検討への適用性においては不十分な点も多い。そこで、より地域性を考慮するために、表層地盤特性と相関があり測定が簡便な微動 H/V スペクトル比を新たにパラメータに加え回帰式を求めた。目的変数は、露頭基盤観測点の最大速度に対する推定地点の最大速度の増幅度とした。説明変数である推定地点の AVS30、微動 H/V スペクトル比の卓越振動数から最大速度の増幅度を算定し、露頭基盤観測点の最大速度と掛け合わせることで推定地点の最大速度を推定する。

以下に、対象地域の概要、各種パラメータおよび回帰分析結果について述べる。

#### 4.1 対象地域での強震観測

首都大学東京では、1994 年より逗子市において露頭基盤上を含む地表 5 地点に常設地震計を設置し、強震観測を行っている。ここで、逗子市と強震観測の概要について述べる。

逗子市は神奈川県南西部三浦半島の付け根付近に位置し、南北を丘陵地に囲まれ低地を東西に横切る形で流れる田越川の流域に位置している。この低地の地盤は軟弱な沖積層で構成されている。比較的狭い地域に大小の谷地形が形成され、地下の基盤形状も複雑である。

常設地震計は軟弱地盤である田越川の流域に 3 点（K1：逗子小学校、K4：沼間小学校、K5：沼間公民館）、小坪川沿いに 1 点（K2：小坪小学校）、市南部の丘陵地に位置する露頭基盤上に 1 点（K3：郷土資料館）の計 5 地点に設置している。強震観測点の位置を図 4.1 に示す。

地震計は 2011 年 3 月より小型サーボ型加速度計 CV-374A（東京測振製）を使用している。水平方向 2 成分、上下方向 1 成分の合計 3 成分についてサンプリング周波数 100Hz、トリガーレベル 1gal で常時観測を行っている。表 4.1 に地震計の仕様を示す。

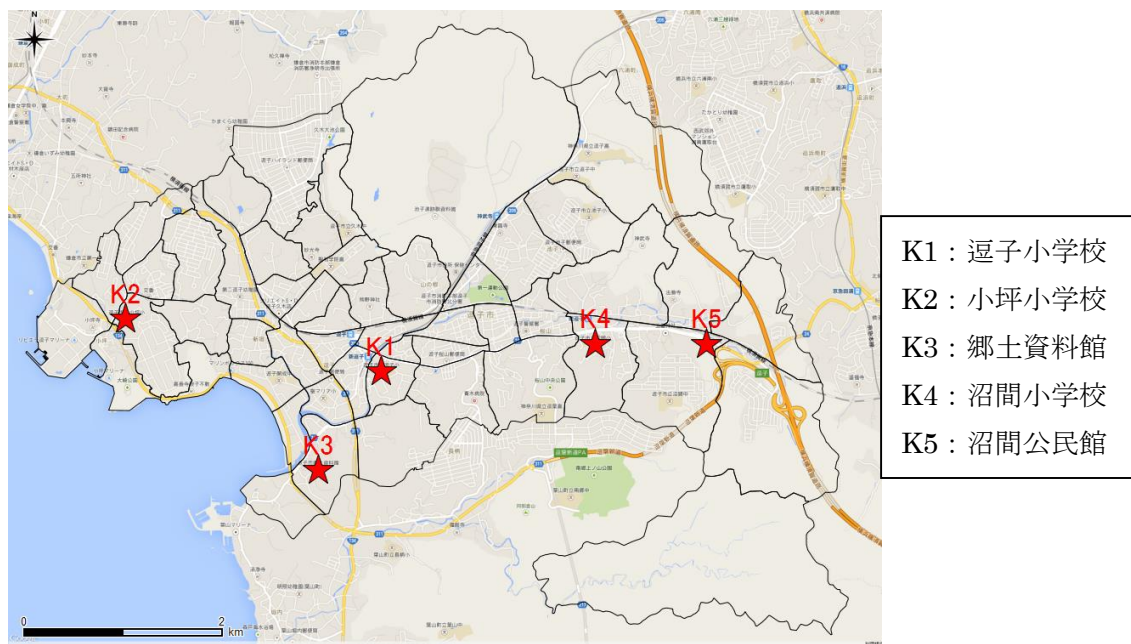


図 4.1 逗子市の強震観測点

表 4.1 地震計の仕様

<b>アナログ、A/D変換部</b>	
入力最大電圧	±4.0V、±10.0V
サンプリング周波数	100、200Hz
AD分解能	24bit
<b>センサ部</b>	
内臓加速度計	小型サーボ型加速度計
成分数	3軸(3成分)
測定範囲	±2000Gal
周波数特性	DC～100Hz
<b>記録部</b>	
トリガーレベル	0.5～100Gal(0.1Galステップ)
プリトリガー時間	1～300秒
ポストトリガー時間	10～300秒
記録時間(トリガー記録)	約160時間(1分～10分/File)
連続記録	約30日(10分/File)
記録上書き方式	時系列方式(古い記録順に消去)
記録媒体	CFカード、最大2GB
波形フォーマット	WIN32準拠

## 4.2 強震動記録

2011 年 3 月から 2014 年 10 月までに、露頭基盤観測点である K3 観測点で観測された地震のうち、他の 4 地点でも同時に観測された 23 地震を用いて回帰分析を行った。用いるにあたり、強震動記録に対し前処理を行った。まず、 $S1=0.14, S2=0.28, S3=10, S4=17$ (図 4.2)のバンドパスフィルタをかけることでノイズを除去した。次に、線形加速度法により加速度波形を速度波形に変換し、最大速度を Midorikawa et al.(1994)にならい水平 2 成分の時刻歴の 2 乗和の平方根から求めた。表 2.3 に回帰分析に用いる 23 地震の最大速度を示す。

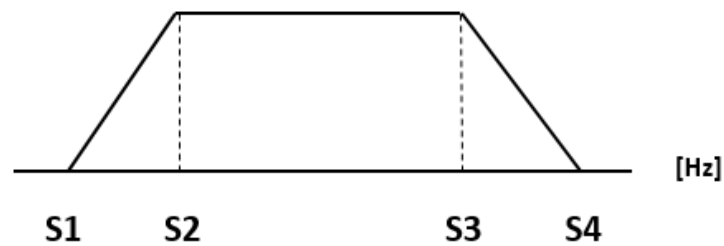


図 4.2 バンドパスフィルタ

表 4.2 観測地震の最大速度一覧

No.	K3での観測日時		最大速度(m/s)				
			K1	K2	K3	K4	K5
1	2011年8月31日	8:31:18	1.01	0.27	0.31	0.45	0.41
2	2011年11月3日	19:34:57	0.40	0.13	0.10	0.28	0.19
3	2011年12月5日	6:40:39	0.10	0.09	0.04	0.01	0.07
4	2012年1月28日	7:43:25	0.62	0.36	0.23	0.60	0.56
5	2012年3月14日	21:05:28	1.18	0.40	0.32	0.76	0.49
6	2012年7月3日	11:31:16	1.90	1.05	0.44	2.85	3.11
7	2013年2月1日	23:07:11	0.25	0.12	0.14	0.20	0.21
8	2013年2月24日	11:36:11	0.10	0.09	0.05	0.07	0.06
9	2013年8月25日	23:25:46	0.33	0.20	0.10	0.20	0.19
10	2013年9月16日	12:53:35	0.20	0.15	0.07	0.18	0.25
11	2013年10月26日	2:11:30	0.90	0.57	0.46	0.58	0.38
12	2013年11月16日	20:44:55	1.16	0.82	0.56	0.80	0.79
13	2013年11月17日	0:46:21	0.23	0.17	0.13	0.28	0.24
14	2014年1月17日	18:53:43	0.26	0.22	0.15	0.17	0.17
15	2014年3月12日	5:04:58	0.27	0.07	0.11	0.12	0.11
16	2014年3月30日	12:24:02	0.22	0.08	0.12	0.14	0.10
17	2014年4月18日	7:53:36	0.24	0.08	0.12	0.22	0.10
18	2014年5月5日	5:18:47	1.74	1.40	0.94	2.02	1.70
19	2014年5月13日	8:35:17	0.95	0.40	0.39	0.37	0.39
20	2014年6月17日	2:43:09	0.38	0.25	0.14	0.25	0.20
21	2014年6月28日	14:51:54	0.25	0.07	0.07	0.24	0.11
22	2014年8月24日	17:27:23	0.19	0.11	0.10	0.15	0.19
23	2014年9月16日	12:28:50	1.05	0.49	0.32	0.88	0.33

### 4.3 AVS30

AVS30 は深度 30m までの平均 S 波速度のことで、この値が大きいほど硬く揺れにくい地盤であることを示し、値が小さいほど軟弱で揺れやすい地盤であることを示す。そして、最大速度の表層地盤増幅度と相関があることが知られている。地震動は工学的基盤上の震動が表層地盤により増幅されるため、AVS30 は地震動を推定する上で重要な情報といえる。

AVS30 の算定方法はボーリングを実施している場合と、していない場合に分けられる。

#### 4.3.1 ボーリング地点の AVS30 の推定

掘進深度 30m 以上で PS 検層を実施しているボーリングデータについては、直接 AVS30 を算定することができる。しかしながら、このようなボーリングデータは少なく、ほとんどが PS 検層を実施していないか、掘進深度 30m 以下のものである。そこでデータが不十分なものに対しては土質・N 値と S 波速度の関係式または、浅い深度での AVS を活用して、AVS30 を推定する。

##### (1) PS 検層を実施していないボーリングデータの処理

ボーリング柱状図の深度ごとの土質と N 値から各層の S 波速度を推定し、その結果から AVS30 を推定する。以下に中央防災会議(2006)による式を示す。

$$V_s = a \cdot N^b$$

$V_s$  : S 波速度(m/s)

N : N 値 (層ごとの平均 N 値)

a : 土質係数 1 (粘土 : 111.30、砂 : 94.38、礫 : 123.05)

b : 土質係数 2 (粘土 : 0.3144、砂 : 0.3020、礫 : 0.2443)

これにより求まる S 波速度構造から AVS30 を推定する。

##### (2) 掘進深度 30m 未満のボーリングデータの処理

N 値  $\geq 50$  基盤深度が確認できる場合には、基盤深度より浅く 10m、15m、20m、25m のうちで最も基盤深度に近い値を設定し、その深度までの平均 S 波速度 AVSn を計算する。そして、AVSn-AVS30 の経験式

$$AVS30 = a_n \times AVSn + b_n$$

n : 10、15、20、25

$a_n, b_n$  : AVSn と AVS30 の回帰式の係数

より AVS30 を推定する。

N 値 $\geq 50$  基盤深度が確認できない場合についても同様に、AVSn を計算し、AVSn－AVS30 の経験式を用いて、AVS30 を推定する。

以下に、地震防災マップ作成技術資料、内閣府(2005)での係数を表 4.3 に示す。

表 4.3 AVSn と AVS30 の経験式の係数  
(基盤深度 (N 値 50 以上の層) が確認できる場合)

n	$a_n$	$b_n$
10	1.441	58.726
15	1.144	43.528
20	1.083	29.658
25	1.034	7.937

(基盤深度 (N 値 50 以上の層) が確認できない場合)

n	$a_n$	$b_n$
10	0.832	59.881
15	0.909	37.213
20	0.946	23.318
25	0.983	9.113

#### 4.3.2 微地形区分と AVS30 の関係

AVS30 と微地形区分には相関があることが知られており、地震防災マップ作成技術資料(2005)や松岡・他(2005)でその経験式を求めている。以下に松岡・他(2005)の経験式と係数を示す (表 4.4)。

$$\log AVS30 = a + b \cdot \log Ev + c \cdot \log Sp + d \cdot \log Dm \pm \sigma \quad (*)$$

Ev : 標高(m)

Sp : 傾斜

Dm : 先第三系・第三系の山地・丘陵からの距離(km)

a,b,c,d : 係数 (微地形区分ごと)

$\sigma$  : 標準偏差 (微地形区分ごと)



表 4.4 松岡・他(2005)による微地形区分ごとの係数

ID	微地形区分	回帰係数				標準偏差 $\sigma$
		a	b	c	d	
1p	山地(先第三系)	2.900	0	0	0	0.139
1t	山地(第三系)	2.807	0	0	0	0.117
2	山麓地	2.602	0	0	0	0.092
3	丘陵	2.349	0	0.152(0.219)	0	0.175
4	火山地	2.708	0	0	0	0.162
5	火山山麓地	2.315	0	0.094(0.382)	0	0.100
6	火山性丘陵	2.608	0	0	0	0.059
7	岩石台地	2.546	0	0	0	0.094
8	砂礫質台地	2.493	0.072(0.270)	0.027(0.101)	-0.164(-0.336)	0.122
9	ローム台地	2.206	0.093(0.269)	0.065(0.223)	0	0.115
10	谷底低地	2.266	0.144(0.447)	0.016(0.040)	-0.113(-0.265)	0.158
11	扇状地	2.350	0.085(0.419)	0.015(0.059)	0	0.116
12	自然堤防	2.204	0.100(0.368)	0	0	0.124
13	後背湿地	2.190	0.038(0.178)	0	-0.041(-0.152)	0.116
14	旧河道	2.264	0	0	0	0.091
15	三角洲・海岸低地	2.317	0	0	-0.103(-0.403)	0.107
16	砂州・砂礫州	2.415	0	0	0	0.114
17	砂丘	2.289	0	0	0	0.123
18	干拓地	2.373	0	0	-0.124(-0.468)	0.123
19	埋立地	2.404	0	0	-0.139(-0.418)	0.120

#### 4.3.3 地震ハザードステーションによる AVS30

本研究で用いる AVS30 は、「地震ハザードステーション」(J-SHIS、防災科学技術研究所) によるものとした。J-SHIS は、1995 年から蓄積された地震ハザード評価の成果をまとめたもので、今後想定される地震について地震動予測地図を 250m メッシュで公開している。また最終成果物の地図だけではなく、前提条件となった地震活動・震源モデルおよび地下構造モデルなどの評価プロセスに関わるデータも併せて公開している。J-SHIS による AVS30 は全国同水準で求めることを前提としているため、微地形区分との経験式(\*式)により求めている。J-SHIS で公表されている、逗子市での微地形区分の分布を図 4.3 に、AVS30 の分布を図 4.4 に示す。

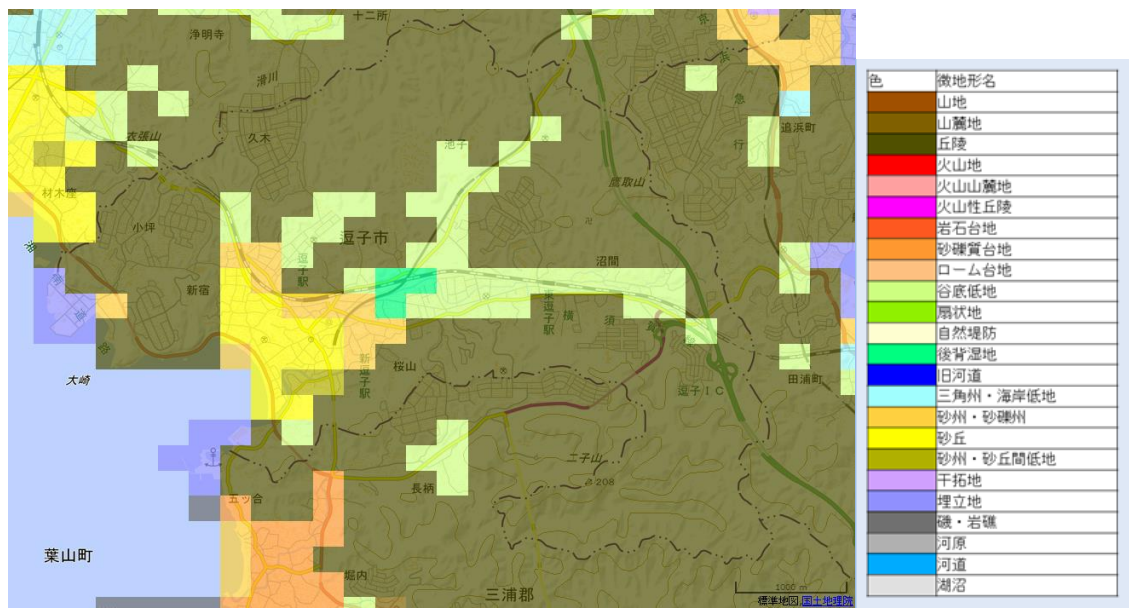


図 4.3 逗子市の微地形区分

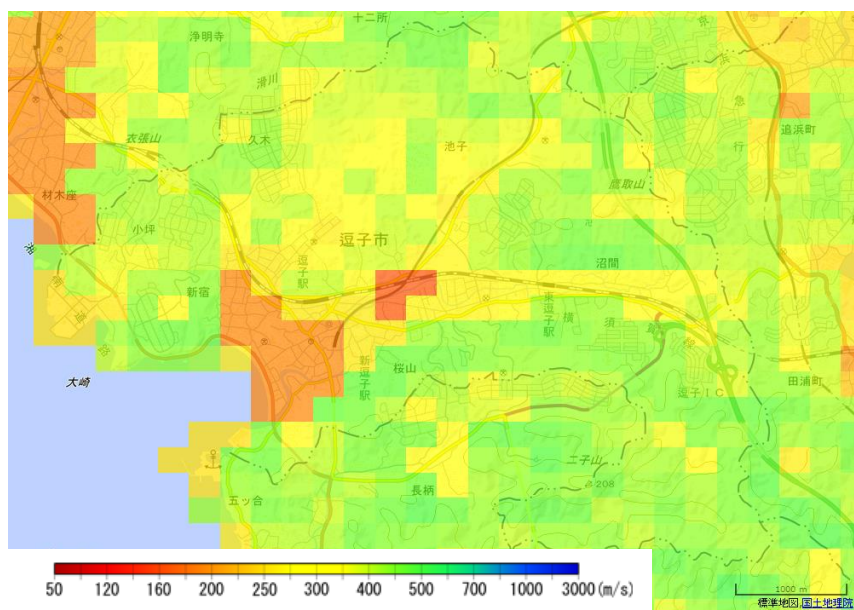


図 4.4 逗子市の AVS30 分布

#### 4.4 常時微動

一般に地盤は交通機関や、風に揺れる木々などを振動源として常に小さく震動している。この微小な震動のことを常時微動と呼ぶ。常時微動は場所によりその様子が異なり、理論的には震動源が多岐にわたりそれぞれの震動が不規則に分布している場合には、地表面での常時微動は表層地盤の固有振動数で卓越が現れるはずである。そのため、その地点の表層地盤の震動特性を評価する方法として、高感度の地震計を設置して常時微動を観測する手法がよく用いられる(中村、1986)。中村(1986)は、常時微動観測により観測されたデータを、周波数領域で水平動と上下動の比を求める微動 H/V スペクトル比から地盤の固有振動数を推定する方法を提案している。

##### 4.4.1 常時微動観測の概要

本研究では逗子市全域の微動観測データに加え、新たに災害時に主要な機能を担うと考えられる逗子市役所周辺と主要な街道沿い約 1km にわたり 50m 毎に常時微動観測を行った。図 4.5 に観測点を示す(計 336 地点)。観測には、ポータブル微動観測キット JU210(白山工業株式会社製)を使用した。観測は水平 2 成分と上下 1 成分の計 3 成分として加速度波形を記録し、サンプリング周波数 100Hz、観測時間は 6 分間を基本とした。

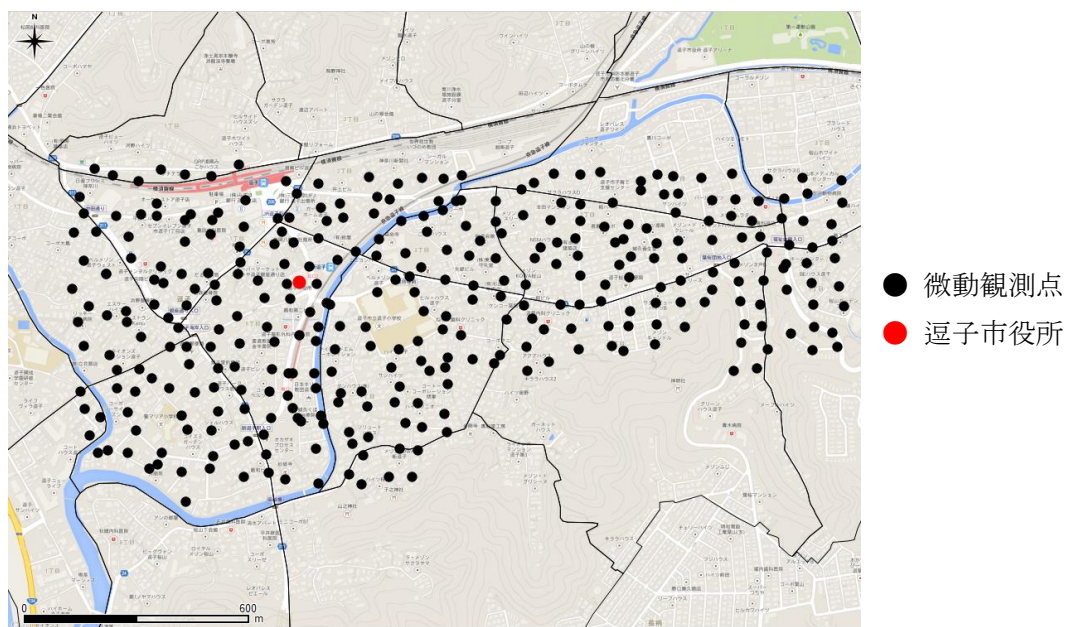


図 4.5 微動観測点

#### 4.4.2 微動 H/V スペクトル比

常時微動観測により得られた加速度データは高速フーリエ変換 (FFT) により各成分の周波数成分を抽出し、水平 2 成分の 2 乗和の平方根と上下動の比を算出することにより、微動 H/V スペクトル比を求めた。解析には、「TremorDataView」(防災科学技術研究所研究資料、第 313 号) を用いた。「TremorDataView」は、微動解析の効率化を目的として開発されたソフトウェアであり、JU210 で観測した微動データの各種解析に用いられる。本研究では微動 H/V スペクトル比の算出に用いた。解析画面を図 4.6 に示す。観測された微動データを 20 秒間隔で区切り各区間の微動 H/V スペクトル比を求め、その平均値を表示する。震動源がわかっているような、大きな震動についてはその震動が含まれる 20 秒間を解析から省くことが出来る。この 20 秒 1 区間のうち最低 5 区間の微動 H/V スペクトル比を採用し、その平均を求めた。この微動 H/V スペクトル比の卓越を 0.5Hz から 10Hz の間で読み取り、その地点での固有振動数とした。求めた固有振動数の分布を図 4.7 に示す。

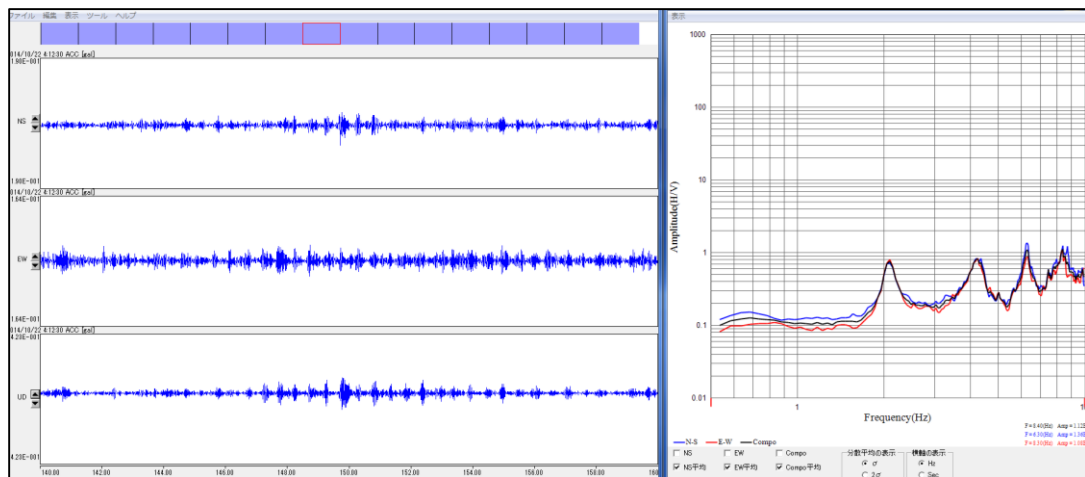


図 4.6 TremorDataView の解析画面



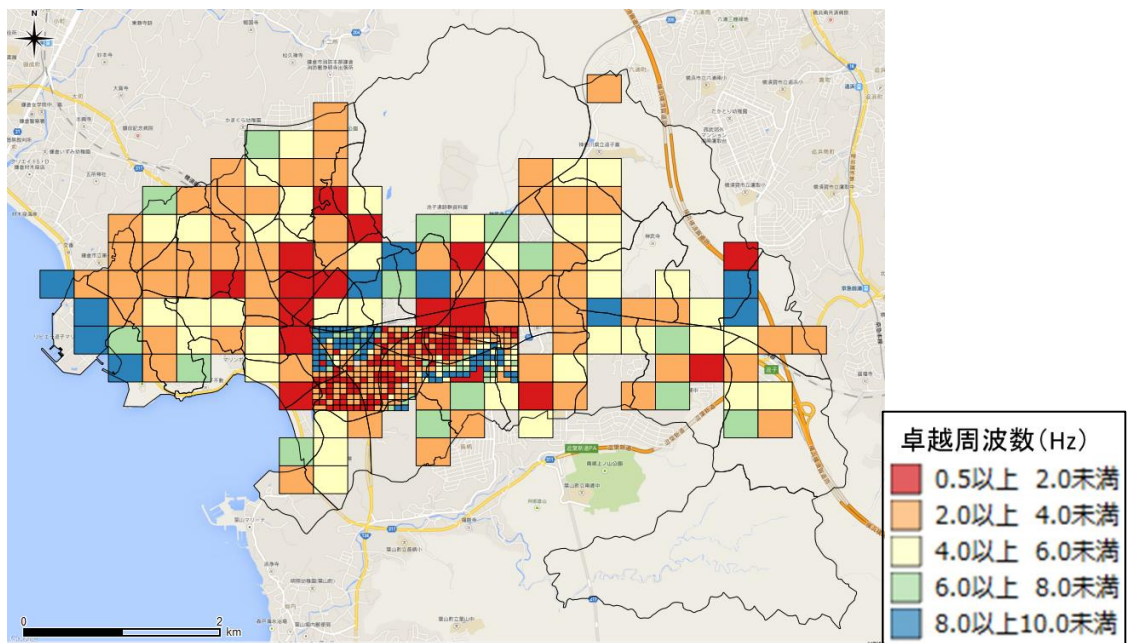
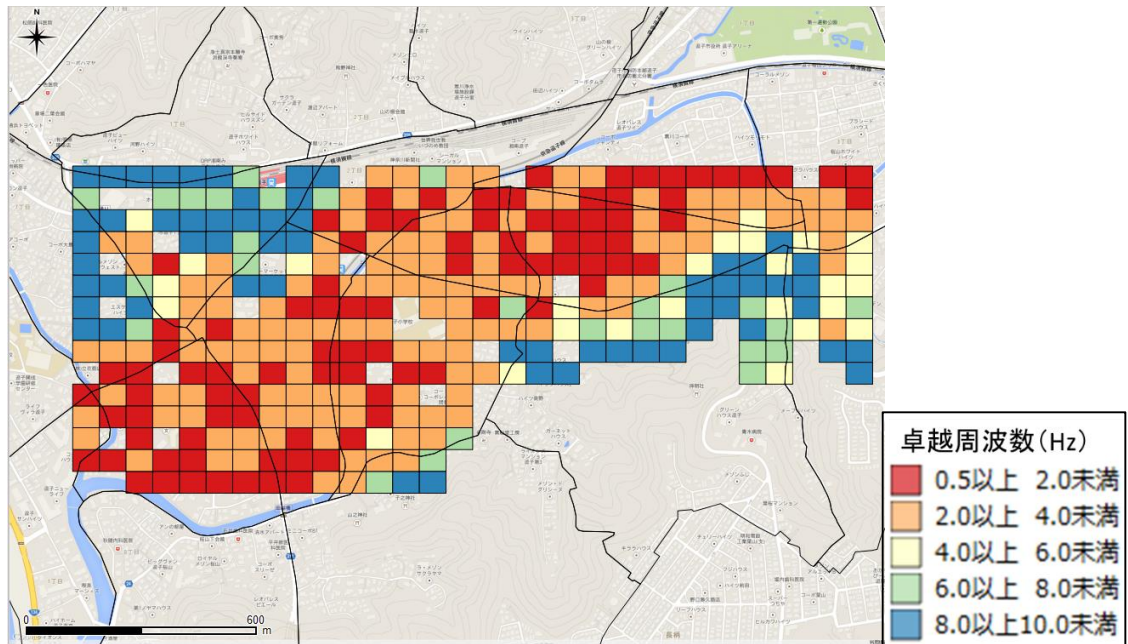


図 4.7 微動 H/V スペクトル比の結果  
 上図：50m メッシュ毎の卓越振動数分布  
 下図：逗子市全域の卓越振動数分布

#### 4.5 回帰分析

前述の 23 地震を用いて回帰分析を行った。回帰式は既往の方法として、緊急地震速報の表層地盤の増幅度の算出に用いられる Midorikawa et al.(1994)の式を基本とする。

Midorikawa et al.(1994)の式は

$$\log G = -0.66 \log AVS30 + 1.83 \quad (1)$$

である。ここで  $G$  は工学的基盤からの最大速度の増幅度、 $AVS30$  は推定地点の値である。この式を基本とし、逗子市に適応するにあたり目的変数を露頭基盤観測点である K3 観測点に対する各観測点の最大速度の増幅度とし、説明変数は  $AVS30$  と微動  $H/V$  スペクトル比の卓越振動数とした。各強震動観測点の  $AVS30$  と微動  $H/V$  スペクトル比の卓越振動数の一覧を表 4.5 に示す。

初めに、既往の方法同様  $AVS30$  のみを説明変数とした回帰式を求めた。

$$\log G = -1.34 \log AVS30 + 3.61 \quad (2)$$

決定係数は  $R^2 = 0.19$  である。回帰分析に用いた 23 地震の実測値と推定値の相関を図 4.9 に示す。相関係数は 0.75 であり、誤差を評価する指標である 2 乗平均平方根誤差(RMSE : Root Mean Square Error)は 0.38 である。

次に本手法である、 $AVS30$  と微動  $H/V$  スペクトル比の卓越振動数を説明変数とした回帰式を示す。

$$\log G = -0.015(H/V) - 1.58 \log AVS30 + 4.18 \quad (3)$$

決定係数は  $R^2 = 0.22$  である。回帰分析に用いた 23 地震の実測値と推定値の相関を図 4.10 に示す。相関係数は 0.76、RMSE は 0.37 である。

参考に、既往の方法での回帰分析に用いた 23 地震の実測値と推定値の相関を図 4.8 に示す。相関係数は 0.76、RMSE は 0.41 である。

本手法による相関係数は 0.76 であり、比較的精度良く地震動を推定できている。しかし、既往の方法や  $AVS30$  のみを用いた回帰式と比べても大差はない。RMSE により比較すると、既往の手法では 0.41、 $AVS$  のみの回帰式では 0.38、本手法では 0.37 であり本手法による RMSE が最も小さく、わずかではあるが精度を向上させることが出来た。

表 4.5 強震観測点のパラメーター一覧

		AVS30(m/s)	卓越周波数(Hz)
K1	逗子小学校	260.2	1.90
K2	小坪小学校	373.1	0.54
K3	蘆花公園	260.2	2.40
K4	沼間小学校	316.7	3.91
K5	沼間公民館	398.4	7.62

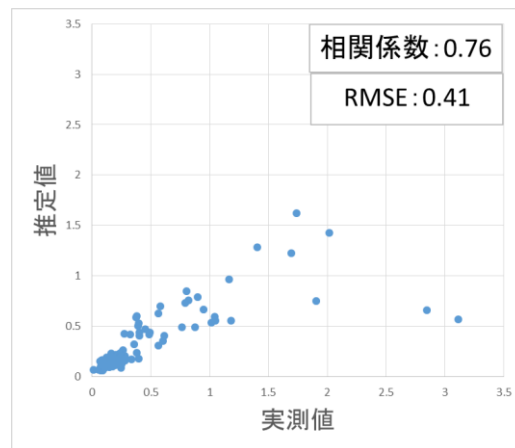


図 4.8 既往の方法による最大速度の相関

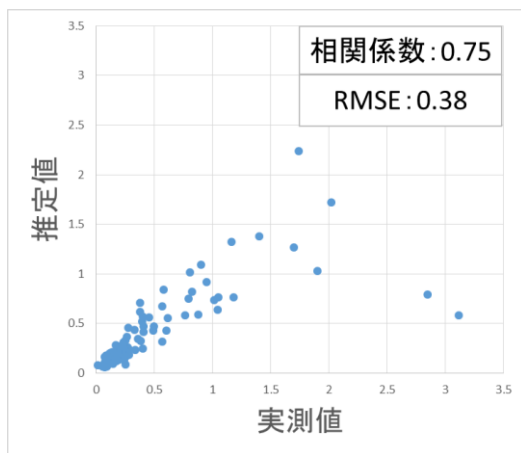


図 4.9 AVS30 のみによる最大速度の相関

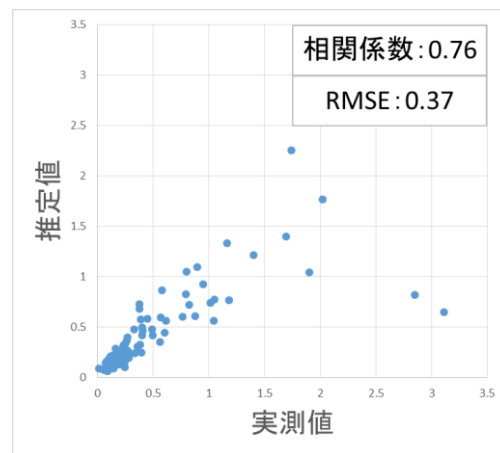


図 4.10 本手法による最大速度の相関

## 第5章 地震被害推定

地震被害の推定では、まず、求めた回帰式と K3 観測点の最大速度を用いて、逗子市内 250m メッシュ（一部 50m メッシュ）の最大速度を推定する。次に、最大速度と建物被害の関係から 50m メッシュ毎に全壊棟数を推定する。事前の被害推定は、今後発生が想定される地震に対して行い、即時被害推定は、K3 で観測された実測値を用いて推定する。

### 5.1 建物被害の推定手法

建物被害推定には、兵庫県南部地震における神戸市灘区での被害事例をもとに設定した林・宮腰（1998）による構造・年代別の被害率曲線を用いた。被害率曲線は PGV（地表最大速度）と建物被害率の関係を表し、推定した最大速度分布から全壊率を算出し、建物棟数分布を掛け合わせることで全壊棟数を得た。式は対数正規分布の累積分布関数で表され、各区分の平均値（ $\lambda$ ）と標準偏差（ $\zeta$ ）を表 5.1 に示す。また、得られる被害率曲線を構造別に図 5.1 に示す。

$$P(PGV) = \Phi\left(\frac{\ln(PGV) - \lambda}{\zeta}\right)$$

表 5.1 建物の被害率曲線

建物区分		被害区分			
構造	年代	全壊		半壊	
		$\lambda$	$\zeta$	$\lambda$	$\zeta$
木造	-1950	4.22	0.558	3.26	0.945
	1951-1960	4.38	0.445	3.77	0.674
	1961-1970	4.32	0.467	3.72	0.614
	1971-1980	4.67	0.462	4.08	0.551
	1981-	5.12	0.552	4.56	0.624
RC造	-1971	5.16	0.849	4.58	1.015
	1972-1981	5.40	0.710	4.93	1.120
	1982-	5.58	0.551	5.36	0.897
S造	-1981	4.80	0.644	4.12	0.916
	1982-	5.44	0.576	5.00	0.923



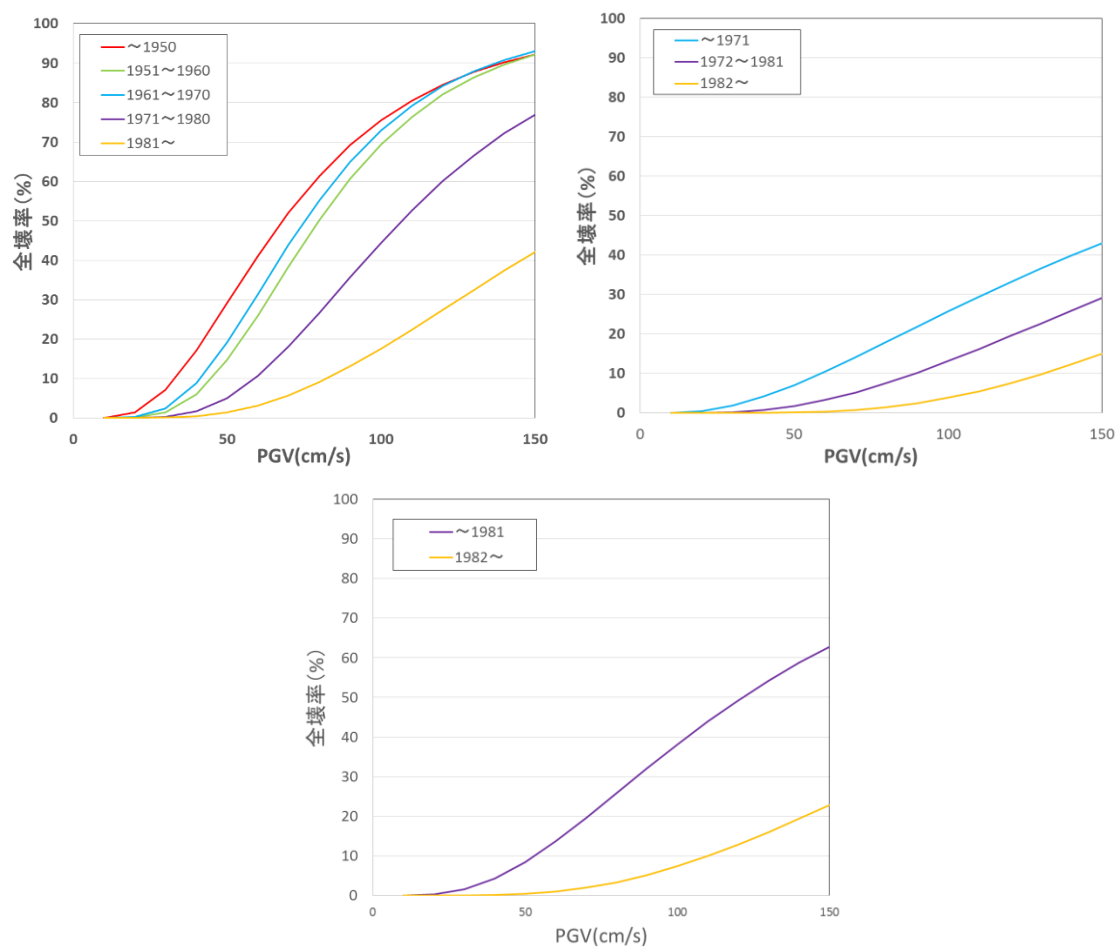


図 5.1 構造・年代別の被害率曲線

左上図：木造建物の被害率曲線

右上図：RC 造建物の被害率曲線

下図：S 造建物の被害率曲線

## 5.2 事前の被害推定

事前の被害推定として、神奈川県被害想定調査において想定地震に設定されている三浦半島断層群を対象として全壊棟数の推定を行った。地震被害の推定では、まず、回帰式と K3 観測点の最大速度を用いて、各地点の最大速度を推定する。次に、最大速度と建物被害の関係から 50m メッシュ毎に全壊棟数を推定する。既往の方法、AVS のみの回帰式および本手法の 3 手法で建物倒壊数を算定した。表 5.2 に三浦半島断層群の断層パラメータを、図 5.2 に防災科学技術研究所の地震ハザードステーションによる想定震度分布を示す。この K3 観測点での計測震度を、童・山崎(1996)による計測震度と最大速度の関係(5.1)式を用いて最大速度に変換し、その値から回帰式を用いた面的な最大速度の推定及び建物被害推定を行った。

$$I = 2.30 + 2.01 \cdot \log PGV \quad (5.1)$$

I : 計測震度

PGV : 地表最大速度(cm/s)

面的な地震動推定では、神奈川県による地震被害想定調査との比較を行うために最大速度による推定結果を、再度(5.1)式を用いて計測震度に変換した。以後、地震動の推定結果はすべて計測震度により表す。震度推定の結果を図 5.3 に、建物被害推定の結果を図 5.4 に示す。分布の色分けは、神奈川県被害想定調査に準拠している。また建物被害分布の 50m メッシュに関しては面積比 25 倍の密度であるので、凡例も各数値の 25 分の 1 で色分けしている。参考として図 5.5 に地震ハザードステーションの想定震度を使った建物被害の推定結果を示す。

建物被害推定結果の市西部を拡大したものが図 5.6 である。このように同じ 250m メッシュ内であっても、50m メッシュで見ると被害の集中する箇所があることがわかる。

今回、新たに建物データベースの構築をすることにより、構造・建築年別に被害推定を行うことが出来ている。図 5.7 に新耐震基準が導入された 1981 年以前の建物分布および図 5.8 に倒壊数分布を示す。このように、未だ既存不適格の建物が多く存在し、建物被害につながることを示した。

表 5.2 三浦半島断層群断層パラメータ

	長期評価
平均活動間隔	1600年－1900年程度
最新発生時期	約2300年前以後、約1900年以前
30年発生確率	6%－11%
50年発生確率	10%－20%
断層帯原点	(東端)北緯35° 10' 東経139° 42' (西端)北緯35° 14' 東経139° 36'
活断層長さL	約11km
マグニチュードM	6.6程度
巨視的震源パラメータ	
断層モデル原点	北緯35.181° 東経139.758°
走行 $\theta$	N300.0° E
傾斜角 $\delta$	45°
すべり角 $\gamma$	180°
断層モデル上端深さ	3km
単位区間長さLmodel	20km
単位区間幅Wmodel	18km
断層モデル総面積Smodel	360km <sup>2</sup>
地震モーメントMo	7.21E+18Nm
モーメントマグニチュードMw	6.5
静的応力降伏量 $\Delta\sigma$	2.6MPa
平均すべり量Dmodel	0.6m
短期周期レベルA	1.02E+19Nm/s <sup>2</sup>

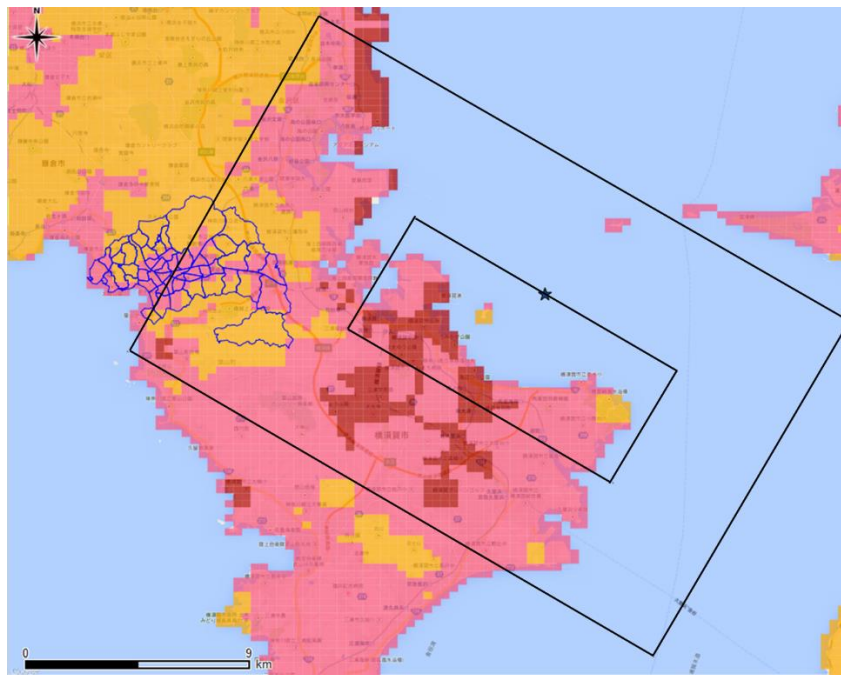


図 5.2 地震ハザードステーションによる三浦半島断層群の想定震度分布

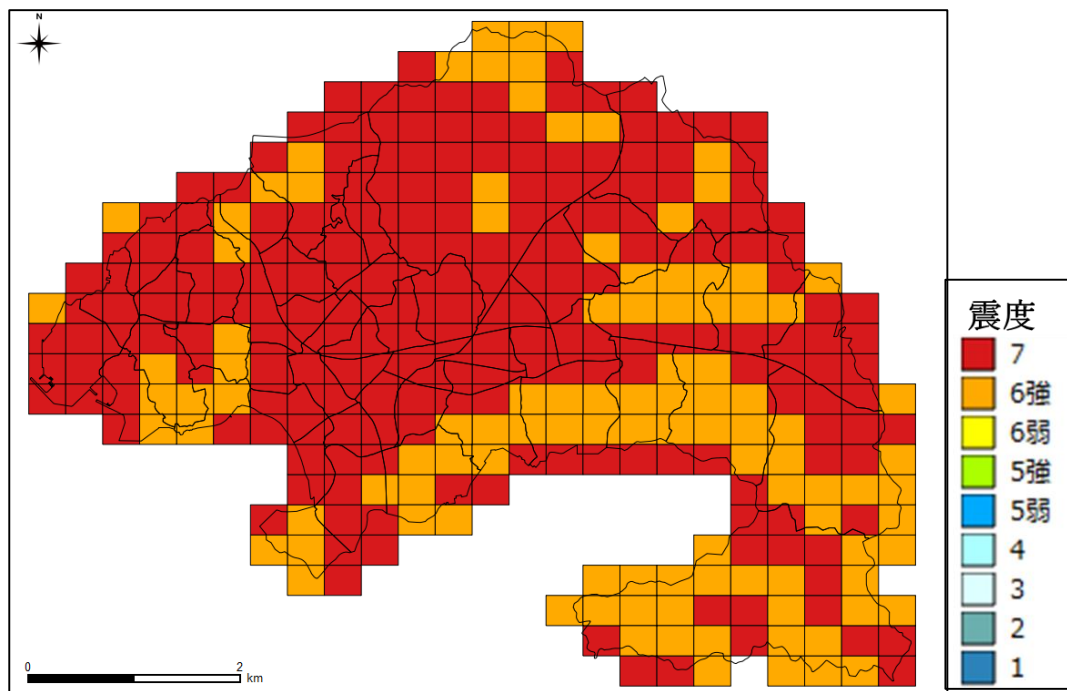
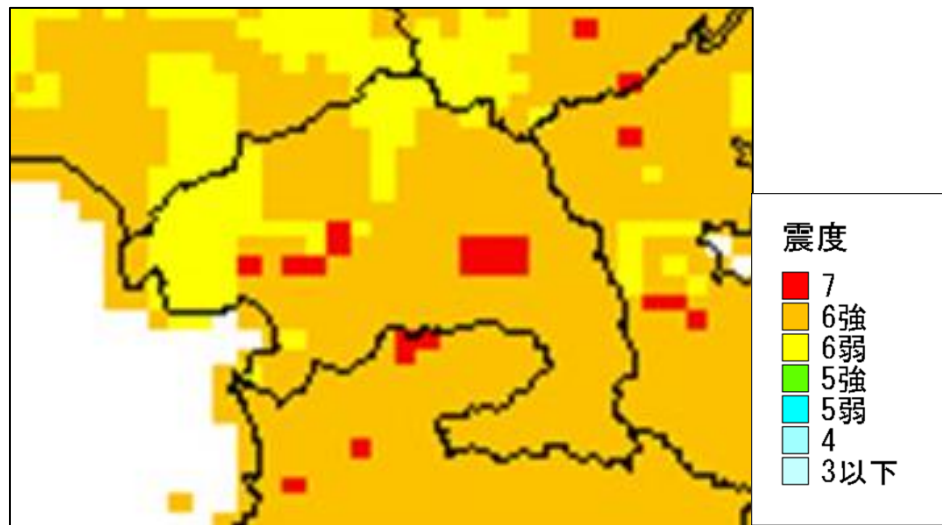


図 5.3 三浦半島断層群による震度分布

上図：神奈川県地震被害想定調査での震度分布(250m メッシュ)

下図：Midorikawa の手法による震度分布(250m メッシュ)

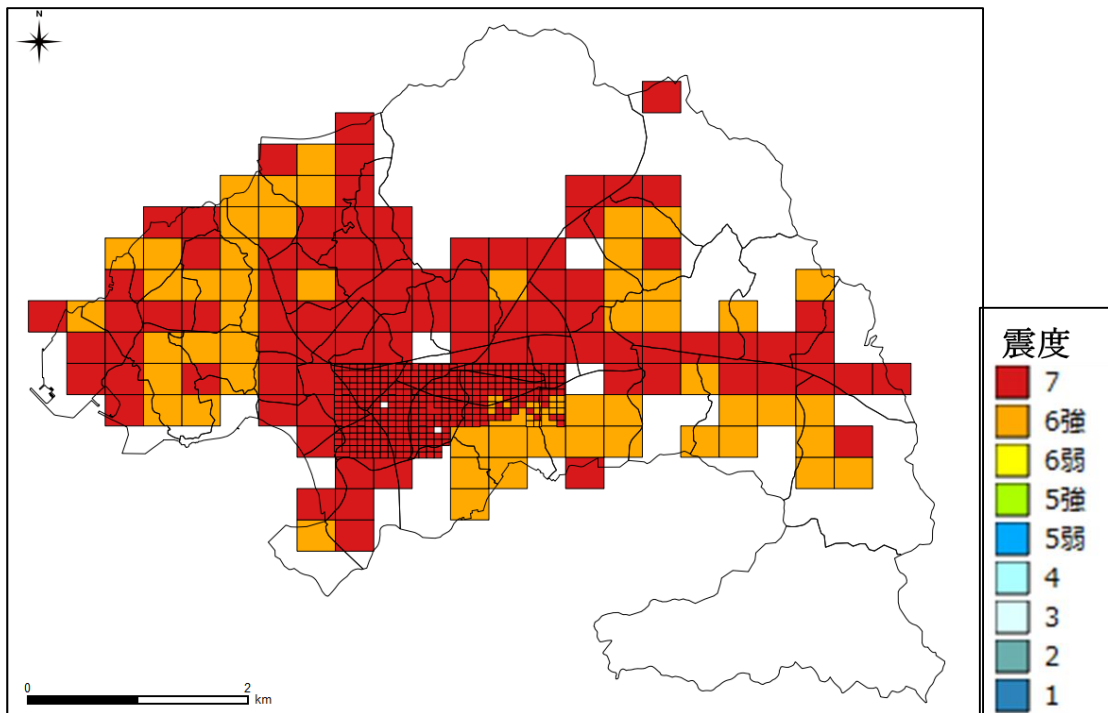
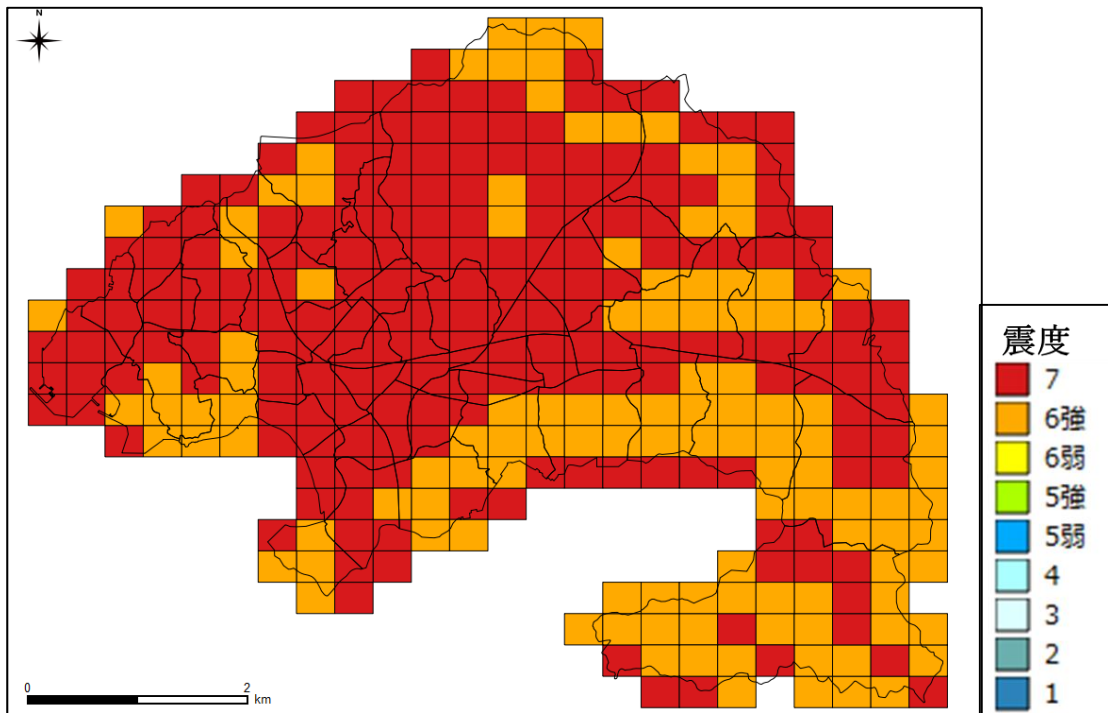


図 5.3 (つづき) 三浦半島断層群による震度分布  
 上図：AVS のみによる震度分布(250m メッシュ)  
 下図：本手法による震度分布(一部最大 50m メッシュ)

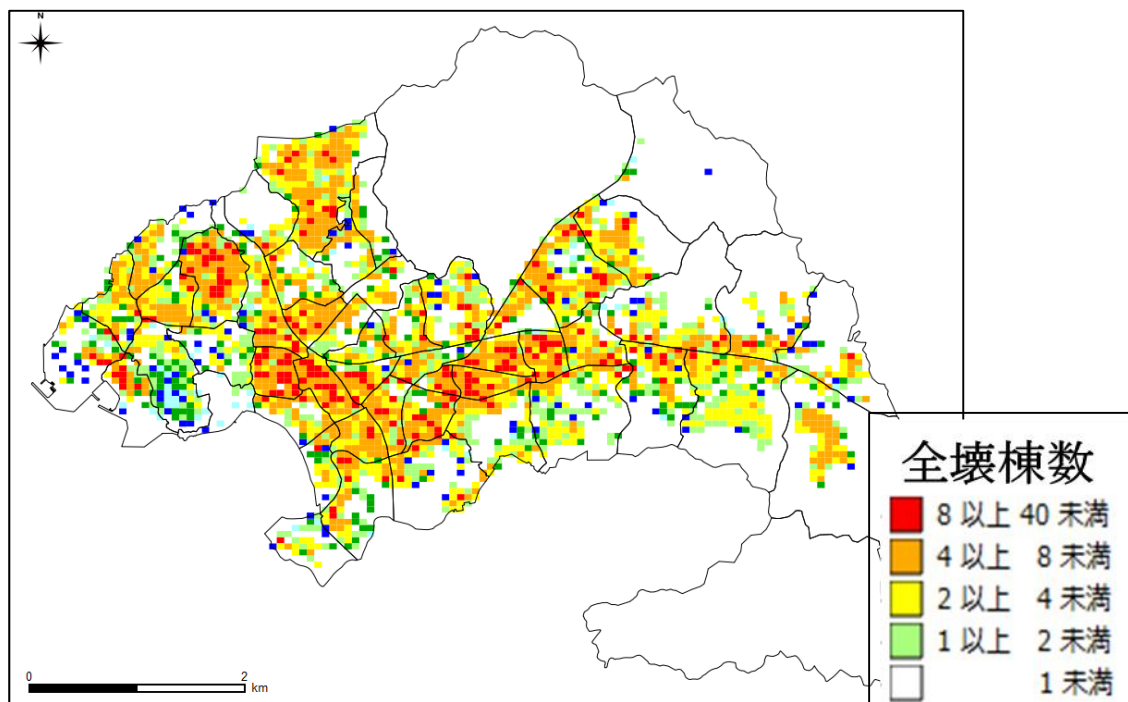
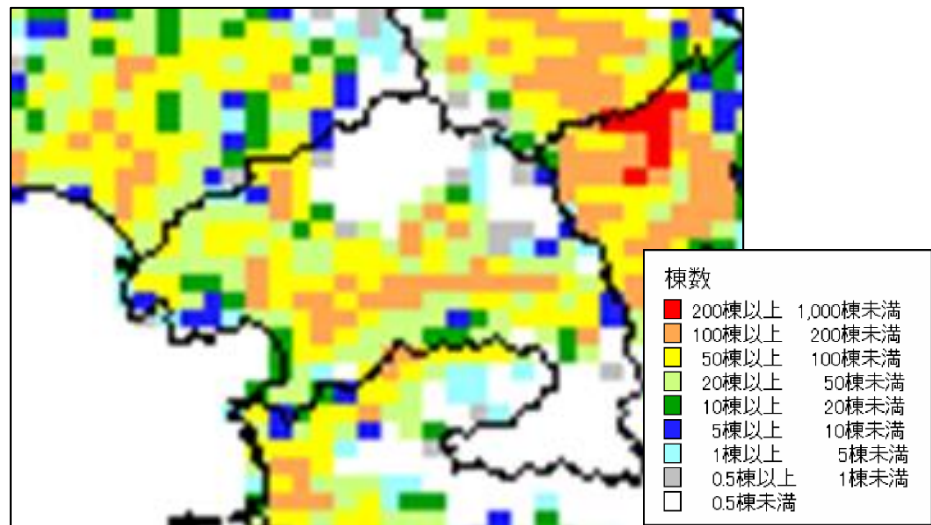


図 5.4 三浦半島断層による建物被害分布

上図：神奈川県地震被害想定調査による建物全壊数分布(250m メッシュ)

下図：Midorikawa の手法による建物全壊棟数分布(50m メッシュ)

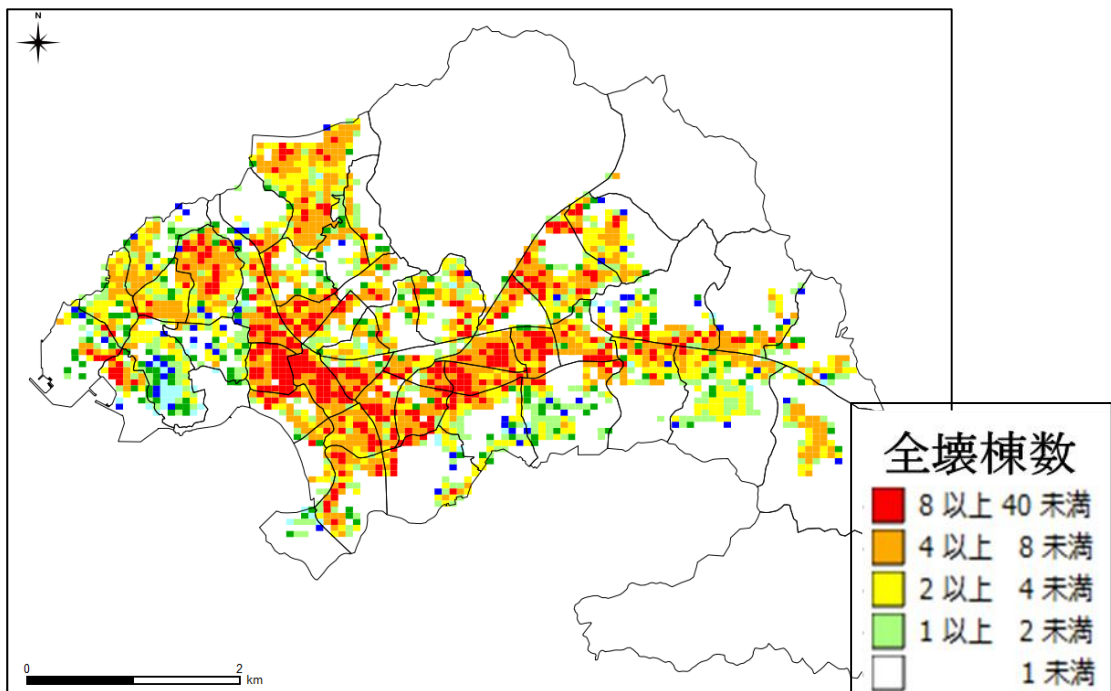
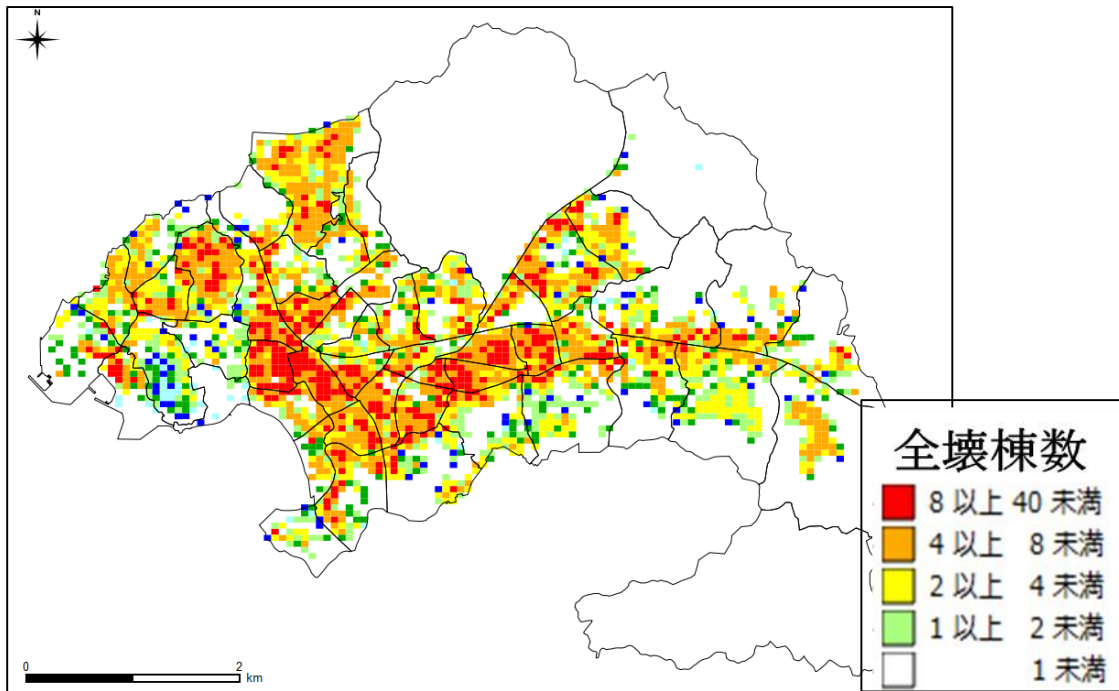


図 5.4 (つづき) 三浦半島断層による建物被害分布  
 上図：AVS のみによる建物全壊数分布(50m メッシュ)  
 下図：本手法による建物全壊数分布(50m メッシュ)

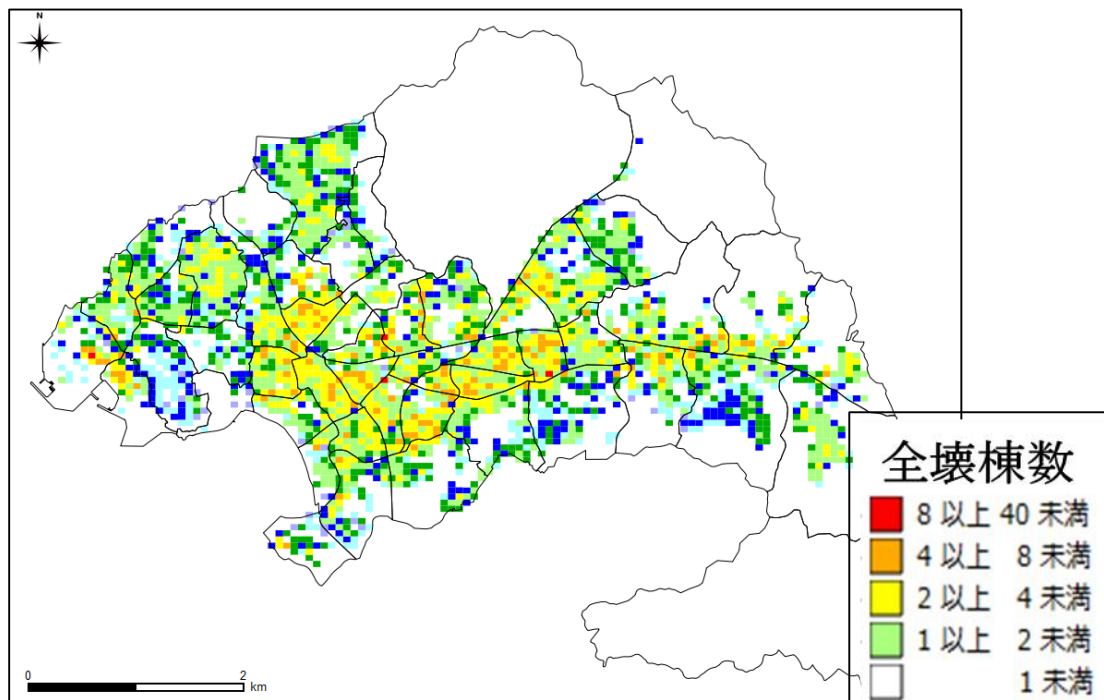


図 5.5 地震ハザードステーションの想定震度による建物全壊棟数分布(50m メッシュ)



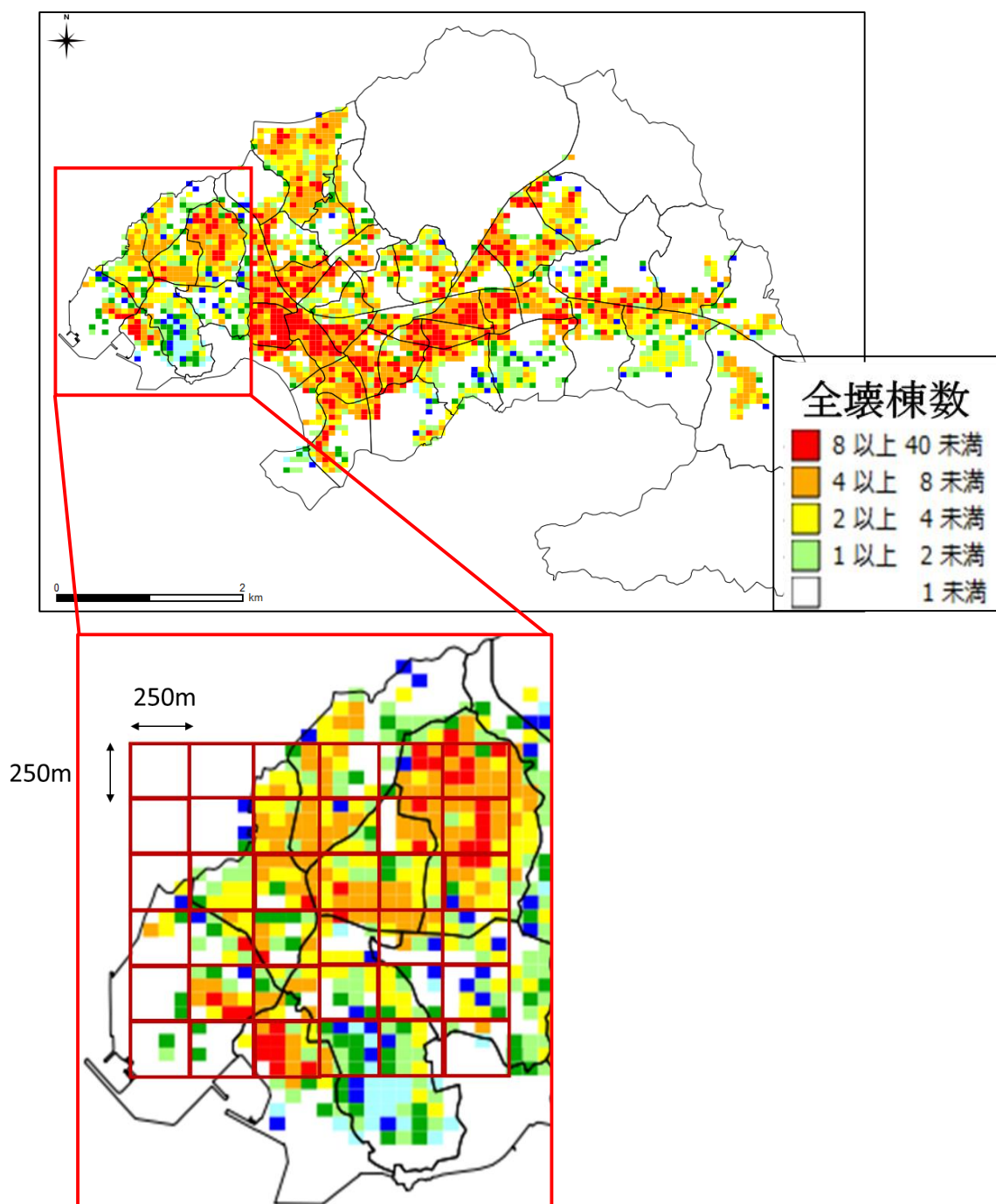


図 5.6 本手法による建物全壊棟数分布拡大図

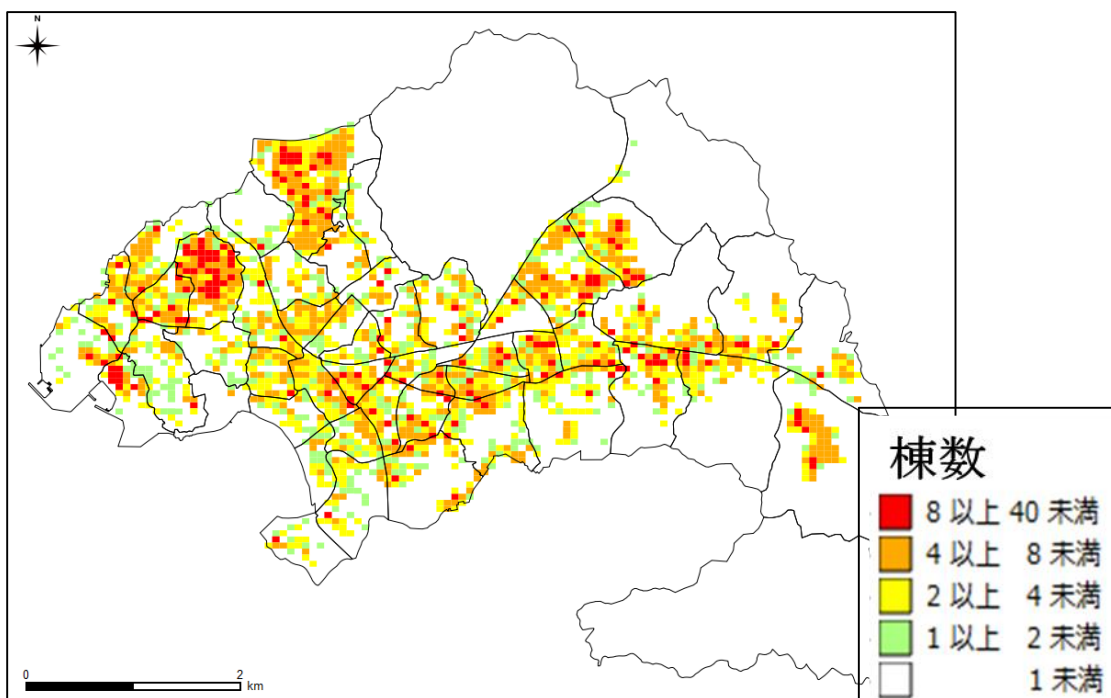


図 5.7 1981 年以前の建物棟数分布

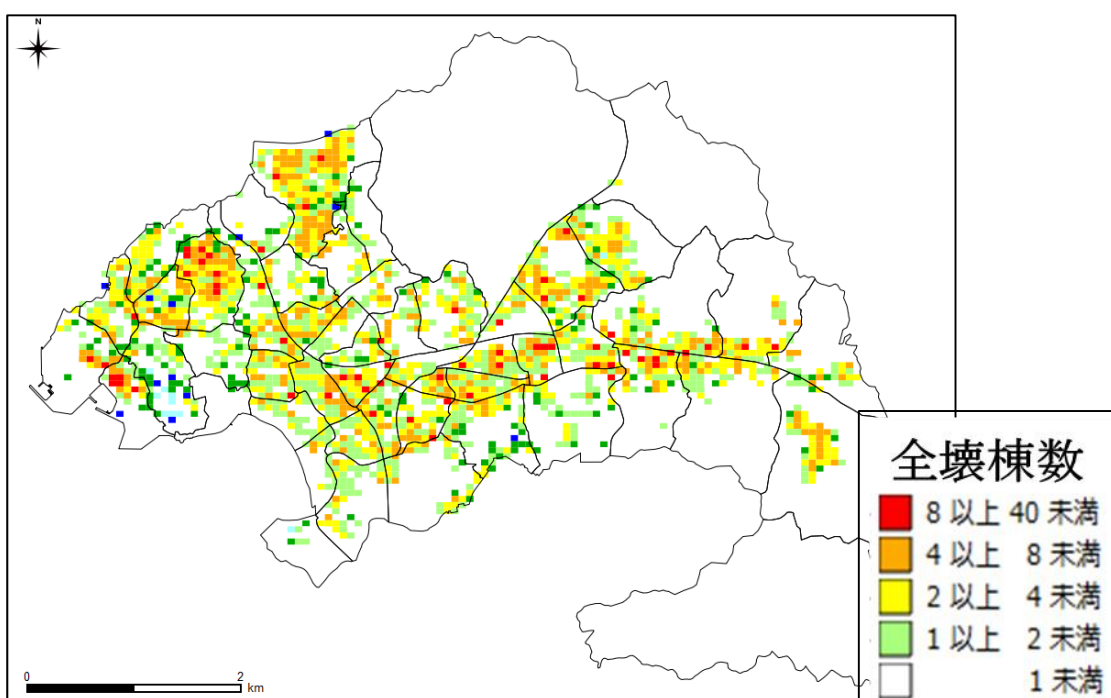


図 5.8 1981 年以前の建物倒壊数分布

### 5.3 即時被害推定

本手法を用いた即時推定について述べる。即時被害推定においては、K3で観測された実測値を用いて最大速度を推定し、その後の手順は5.2と同じである。ここでは、2014年5月5日に伊豆大島近海で発生したM6.0の地震の例を示す。気象庁震度データベースによる震央位置を図5.9に示す。また気象庁によると逗子市の震度は3であった。図5.10に震度推定結果を、図5.11に建物被害推定結果を示す。震度推定結果を見ると逗子市内は震度2から4で分布している。このように同じ市内であっても、震度2の差があることが推定された。また、建物被害推定結果は全域において1棟未満であり、実際にこの地震での被害の情報はなかった。このように、実地震においてもK3観測点の実測値を用いて即時的に被害を推定することができ、地震が起きるたびに地図上で推定結果を把握することができる。

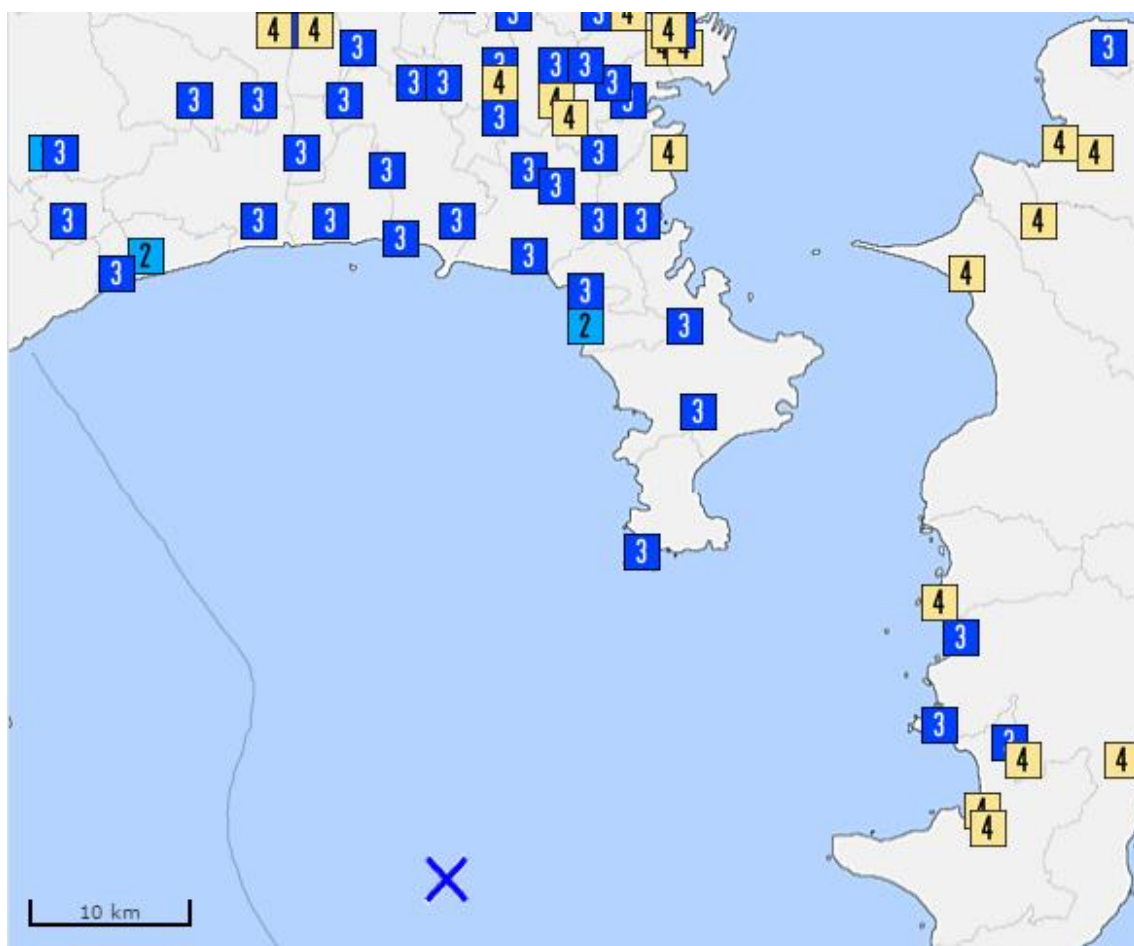


図 5.9 気象庁震度データベースによる震央位置

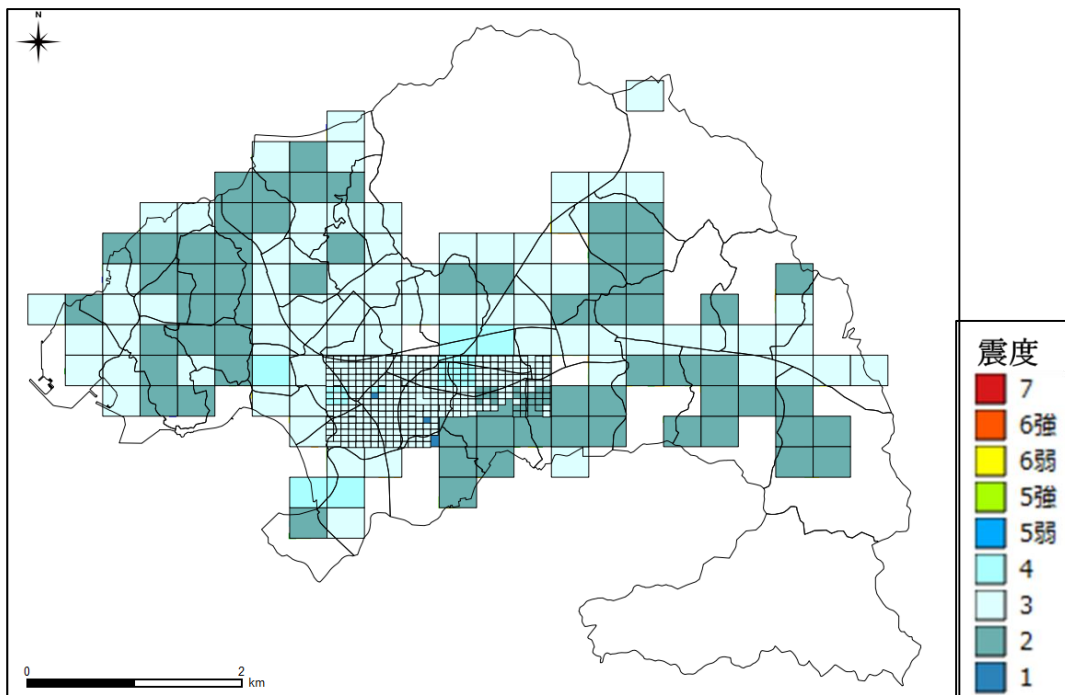


図 5.10 震度分布（一部最大 50m メッシュ）

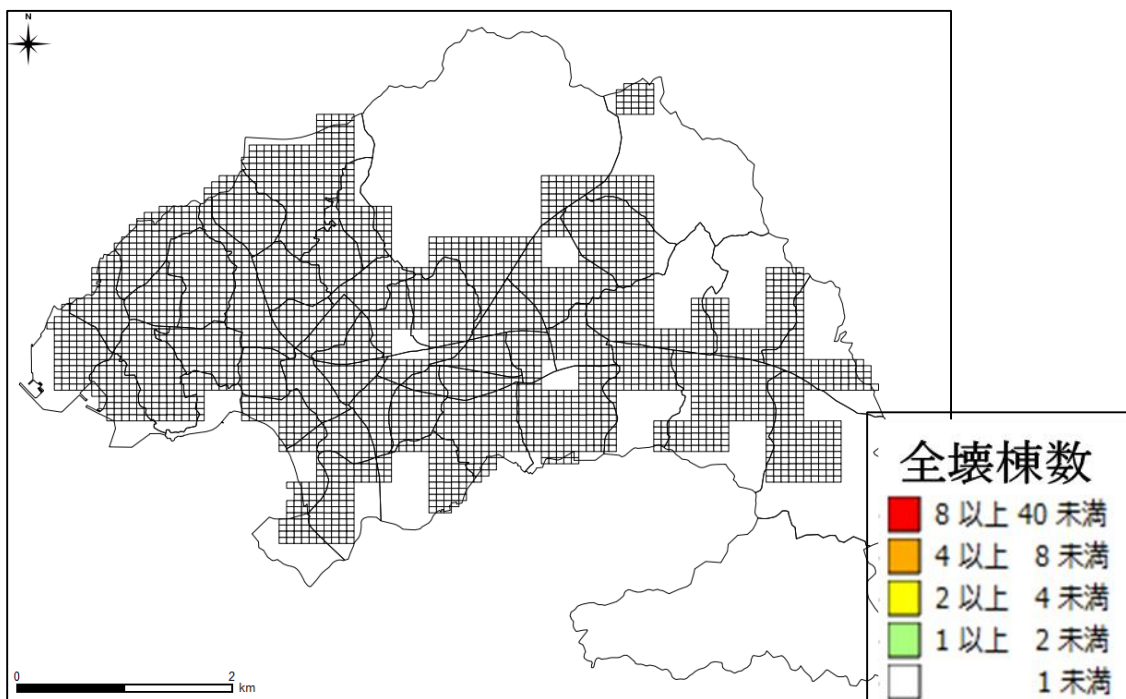


図 5.11 建物全壊数分布（50m メッシュ）

## 第 6 章 結論

本研究では、神奈川県逗子市を対象として 50m メッシュというきめ細かさで、事前の地震被害推定と地震発生後の即時被害推定手法の開発を行った。

地震動の推定に用いる回帰式には、従来法 (Midorikawa et al.1994) の AVS30 に加え、よりきめ細かく地域性を考慮するために常時微動データを活用する方法を提案した。これにより最大 50m メッシュでの地震動推定を可能にした。

本手法で推定した最大速度の推定値と実測値の相関は 0.76 であり、比較的精度良く地震動を推定することが出来ている。また、誤差評価に RMSE を用いて定量的に評価すると、 $RMSE=0.37$  と従来法の  $RMSE=0.41$  と比べて、わずかながらではあるが精度を向上させることができた。

新たに建物データベースを構築した結果、事前の被害推定では、従来に比べ面積比 25 倍の密度で被害推定を行うことができた。また、建築年別の被害推定を行うことで、既存不適格建物の問題も浮き彫りになった。

実測値を用いた被害推定により、地震発生後の即時被害推定が可能であることを示した。これにより地震が起きるたびに震度分布や被害推定結果を詳細かつ面的に得ることが出来る。

課題として、想定地震の震度推定では神奈川県被害想定調査に比べ震度階級が一段階程度高く出る箇所があり、大規模な地震に対する精度向上が必要と考えられる。

## 参考文献

Midorikawa,S. , M.Matsuoka, and K.Sakugawa : Site Effects on Strong-Motion Records Observed during the 1987 Chiba-ken-toho-oki, Japan Earthq. Eng. Sympo,vol.3,pp85-90,1994

中村豊、上野真：地表面震動の上下成分と水平成分を利用した表層地盤特性推定の試み、第7回日本地震工学シンポジウム講演集、pp265-270,1986

神奈川県地震被害想定調査(2009)

<http://www.pref.kanagawa.jp/cnt/f5151/p15579.html>

司宏俊、翠川三郎：断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式、日本建築学会構造系論文報告集、第523号、pp63-70,1999

愛知県防災会議地震部会：愛知県東海地震・東南海地震等被害予測調査報告,2003

林康裕、宮腰淳一：兵庫県南部地震による被害率曲線、1998年日本建築学会災害部門パネルディスカッション資料、地震動の特性と建築物の被害—経験と予測—、pp15-20,1998

中央防災会議：日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会,2006

小田義也、戸田雄太郎：東北地方太平洋沖地震による石巻市桃生町の局所的な建物被害と微動H/V、物理探査学会、第6号、pp445-454,2011

内閣府（防災担当）：地震防災マップ作成技術資料,2005

松岡昌志、若松加寿江、藤本一雄、翠川三郎：日本全国地形・地盤分類メッシュマップを利用した地盤の平均S波速度分布の推定、土木学会論文集、No794/I-72、pp239-251,2005

防災科学技術研究所、地震ハザードステーション

<http://www.j-shis.bosai.go.jp/map/>

先名重樹、藤原広行：微動探査ツールの開発 その1—常時微動解析ツール—、防災科学技術研究所研究資料、第313号,2008

童華南、山崎文雄：地震動強さ指標と新しい気象庁震度階との対応関係、生産研究、第 48 卷、第 11 号、pp31-34,1996

大崎順彦：新・地震動のスペクトル解析入門、鹿島出版社、pp48-56,1995

## 謝辞

本論文をまとめるにあたり、指導教官である小田義也准教授には研究全般にわたる、熱心なご指導をいただき、深く感謝申し上げます。また、ご指導をいただきました西村和夫教授、吉嶺充俊准教授、岩楯敞広先生、井上素行先生に深く感謝の意を表します。

本研究では、図面の一部に国土地理院電位 web システムと Google マップを使用しました。

逗子市防災課に土地家屋台帳を取りまとめていただき、データに関する詳しい説明をしていただきました。心から感謝申し上げます。

建物データの所在確認作業には事務の福原順子さんに、忙しい時間を割いてご協力いただきました。2000 軒にもわたる建物を地図上から探す作業を、一軒一軒正確にやっただき、貴重なデータとなりました。ここに感謝申し上げます。

地図表示には QuantumGIS を用いており、(株)未来基盤情報センターの塚田哲史様に環境構築および技術指導をしていただきました。毎度、突然の質問にも迅速に対応していただき、作業を円滑に進めることができました。ここに感謝の意を申し上げます。

微動観測データの解析の際には、(独)防災科学技術研究所による TremorDataView を先名重樹様よりいただき使用させていただきました。また、神奈川大学工学部建築学科荏本孝久教授には、逗子市内の微動観測データをご提供いただきました。両氏には貴重なソフトとデータをご提供いただいたことをここに記し、感謝申し上げます。

さらに、同研究室諸氏の惜しみない協力により、短期間で高密度の微動データを観測することが出来ました。ありがとうございました。

最後に、本研究成果をここにまとめることができたことをご報告するとともに、ご協力頂きましたすべての方々に感謝の意を表し、謝辞とさせていただきます。

2015 年 2 月 加藤直也