

# 地域の地盤特性を反映した新しいハザードマップの作成

## Creation of a new hazard map reflecting the local ground characteristics

○落合 努<sup>1</sup>, 井上 駿<sup>2</sup>, 犬伏徹志<sup>3</sup>, 荏本 孝久<sup>4</sup>  
 Tsutomu OCHIAI<sup>1</sup>, Shun INOUE<sup>2</sup>, Tetsushi INUBUSHI<sup>3</sup> and Takahisa ENOMOTO<sup>4</sup>

<sup>1</sup>(株)構造計画研究所

Kozo Keikaku Engineering Inc.

<sup>2</sup>神奈川大学大学院工学研究科

Kanagawa University, Graduate School of Engineering

<sup>3</sup>神奈川大学工学部 助手

Kanagawa University, Faculty of Engineering, Research Associate

<sup>4</sup>神奈川大学工学部 教授

Kanagawa University, Faculty of Engineering, Professor

The authors have continuously conducted high-density microtremor observation in Kanagawa prefecture since the 1990's. In this report, we organized and integrated these results and constructed a ground information database. We also tried to create a hazard map focusing on the predominant period and amplification factor of the H / V spectrum ratio by analyzing from the new viewpoint using the database created. From the hazard map, Kanagawa prefecture as a whole has a high degree of danger in limited areas such as Sagami plain south and Tokyo Bay coastal areas (mainly in Yokohama and Kawasaki), which is generally consistent with the past examination.

**Key Words** : Microtremor observation, H/V spectral ratio, Data base, Ground vibration characteristics, Hazard map, Kanagawa prefecture

### 1. はじめに

一般に、地震被害予測は都道府県規模で行われることが多いが、近年さらに市町村規模でもより詳細な被害予測が期待されている。これまでの数多くの地震被災調査より、地盤構造の違いにより建物被害が異なることが指摘されている。そのため、詳細な被害予測のためには表層の地盤震動特性の詳細なデータが必要である。表層の地盤震動特性の把握のためには、ボーリング調査や地震観測記録など、幾つかの方法が利用されているが、広域を対象として詳細な地盤震動特性を把握するための効果的な方法の一つに、常時微動観測による方法が挙げられる。

理論的なアプローチから、微動は表面波成分が優勢であり特に比較的軟質な堆積層が存在する地盤構造においては、レーリー波の特徴を基本とした H/V スペクトル比により地盤の卓越周期と増幅率を推定することが可能であるとされている<sup>1), 2)</sup>など。このため、地震時の災害危険度を推定する上で微動による H/V スペクトル比を用いた分析は効果的であると考えられている。

筆者らは 1990 年代から神奈川県内で、高密度微動観測を継続的に実施してきた<sup>3), 4)</sup>など。本研究では、これらの結果を整理・統合するとともに、地盤情報データベースを構築した。そして、H/V スペクトル比の卓越周期と増幅率に着目した評価指標を示し、それを用いたハザードマップの作成を試みた。

### 2. 神奈川県の地形・地質

図 1 に神奈川県の微地形区分図を示す。県の地形は以下のような 3 つに大別される<sup>5), 6), 7)</sup>。

西部地域：箱根火山で特徴づけられる起伏の激しい山がらの地形

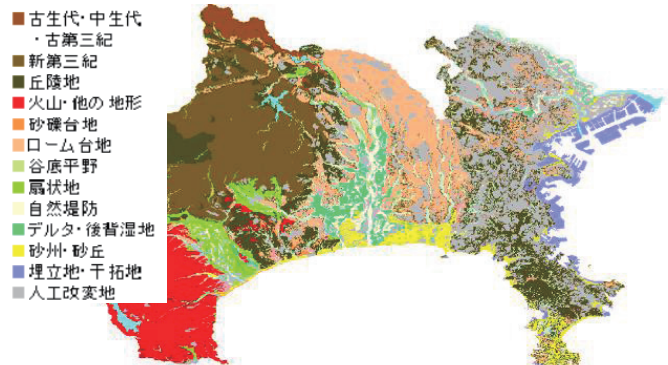


図 1 神奈川県の微地形区分図<sup>7)</sup>

表 1 観測地点の一覧

観測地域	観測地点数	観測地域	観測地点数
横浜市	6146	座間市	254
横須賀市	583	大和市	376
鎌倉市	345	綾瀬市	217
三浦市	327	川崎市	1553
秦野市	587	相模原市	865
逗子市葉山町	278	相模平野	958
藤沢市	502	足柄平野	1117
		合計	14108

中央地域：相模川を中心として、その両岸に広がる平坦な段丘と低地からなる地形

東部地域：多摩丘陵と三浦半島で特徴づけられる丘陵地からなる地形

なお、県西部の他県境界地域から 1/3 程度は山岳地帯であるため本研究の観測地域から除外する。

### 3. 地盤情報データベースの構築

#### 3.1 微動観測データの統合化

1990年代より継続的に実施してきた高密度微動観測は、神奈川県内の各市町の都市地図を参考に、250×250mメッシュ（4分の1地域メッシュ）<sup>8)</sup>を基本としたその中心付近を観測点としている。

観測は、水平方向2成分（EW、NS成分）、鉛直方向1成分（UD成分）の計3成分の波形データを記録する。記録はサンプリング周波数100Hz、観測時間180秒と設定している。同時に地図上およびGPSにより位置情報（緯度・経度）や観測条件も記録している。表1に観測地域と観測地点数を示す。また、神奈川県全域の観測地点とその時に使用した観測機器ごとに色分けしたものを図2に、観測機器を表2に示す。1999年まではQST\_111、QST\_112（東京測振）又はUP-225S（振動技研）を使用し、2000年からはサーボ型速度計VSE-15D（東京測振）を使用し、2016年からは加速度計JU410（白山工業）を使用している。これらの観測機器の間では随時ハドルテストが行われており、本研究で対象とする周期領域（0.1～2.0秒）の範囲では機器による差はほとんど見られないことを確認している。

#### 3.2 観測データの解析方法及び解析結果

観測されたNS・EW・UDの3成分の波形データから、比較的ノイズの少ない安定した20.48秒を成分毎に数区間抽出してそれぞれのフーリエスペクトルを算定する。算定した各区間で水平2成分のスペクトルを相乗平均した2次元水平成分を上下成分で除してH/Vスペクトル比を算出する。最後に、抽出した全区間のH/Vスペクトル比の平均を求める。なお、古い観測波形データについては、確実に同一条件とするためにH/Vスペクトル比を再度求め直している。

本研究では表層地盤を対象とするため、周期0.1～2.0秒付近の範囲でH/Vスペクトル比の特に突出しているピーク点から卓越周期および増幅率を算定する。H/Vスペクトル比の明瞭なピークを読み取るため、原則としてスペクトル比が2.0以上の明瞭なピーク点を卓越周期として算定した。ただし、明瞭なピーク点が見られ

ない場合は、複数のピーク点を候補とし、周辺の卓越周期やボーリングデータ、周辺の地形地質等を参考にしながら算定した。

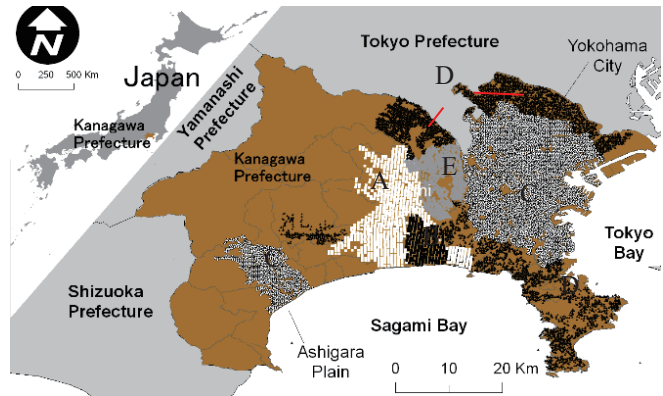


図2 観測地点

表2 観測機器の一覧

観測機器	A	B	C	D	E
レコーダー	DR-F2a TEAC	UPS-T3	SPC-35	SPC-51	JU410 白山工業
アンプ	AL-120-F 東京測振	振動技研	東京測振	東京測振	
センサー	QST_111 QST_112 東京測振	UP-225S 振動技研	VSE-15D 東京測振	VSE-15D 東京測振	

- ①各観測地点における観測地点のコード
- ②市区町村名
- ③観測地点の緯度・経度
- ④観測地点の標高
- ⑤H/Vスペクトル比から算定した卓越周期
- ⑥H/Vスペクトル比から算定した増幅率
- ⑦H/Vスペクトル比の形状
- ⑧微地形区分図から評価された微地形
- ⑨増幅率図から評価された増幅率
- ⑩微動H/Vスペクトル比から算定されたハザード
- ⑪その他（H/Vスペクトル比、時刻歴波形のPDF）

図3 データベース項目

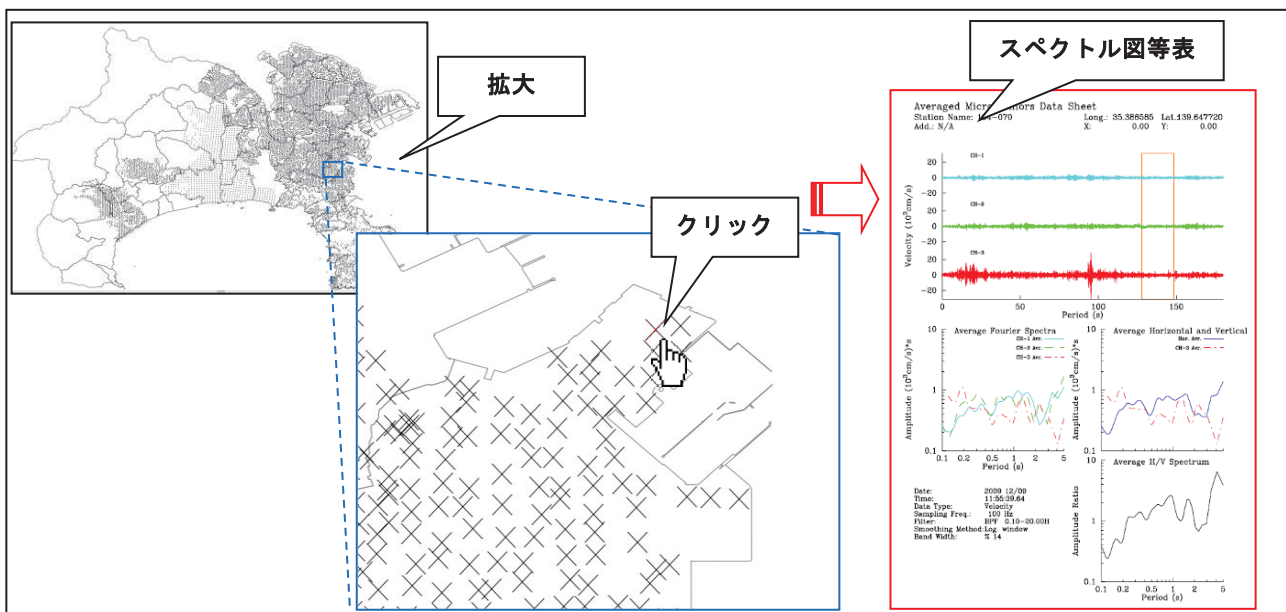


図4 データベース利活用のイメージ

### 3. 3 地盤情報データベースの構築

地形の形成が複雑な神奈川県内においての低地・台地・丘陵地を対象として地盤震動特性情報のデータベースを構築した。データベース化する情報は図 3 に示す 11 項目とした。現状は PC の GIS 上での整理だが、今後は Web-GIS 等で整理し、第三者が活用することを想定し、地図上で選択することでこのデータや H/V スペクトル図などが閲覧できるようにシステムを構築する計画である(図 4)。

## 4. ハザードマップの作成

### 4. 1 微動の卓越周期・増幅率と微地形区分図の比較

神奈川県の地盤については、既往研究にて地形・地質図を元に 50m メッシュの微地形区分図と表層地盤の増幅率図が作成され利用されている<sup>7) 9)</sup>。これと微動の H/V スペクトル比から得られた卓越周期(図 5)、増幅率(図 6)を比較した。

卓越周期分布より、相模平野では相模川を中心とした低地で卓越周期も比較的長いことがわかる。さらに三浦半島や川崎横浜の沿岸部のような海沿いでも卓越周期が長く、鶴見川沿いでも局所的ではあるが卓越周期が長い。これは河川流域において軟弱層が堆積し、卓越周期が長くなったためと考えられる。一方、増幅率は卓越周期分布ほど明確な傾向は認められないが、大局的に見て河川沿いや沿岸部で増幅が大きく、内陸のローム台地などで

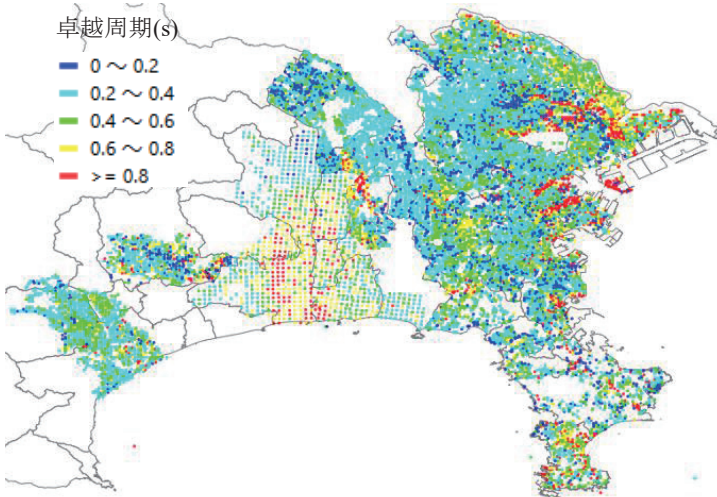


図 5 微動による卓越周期分布

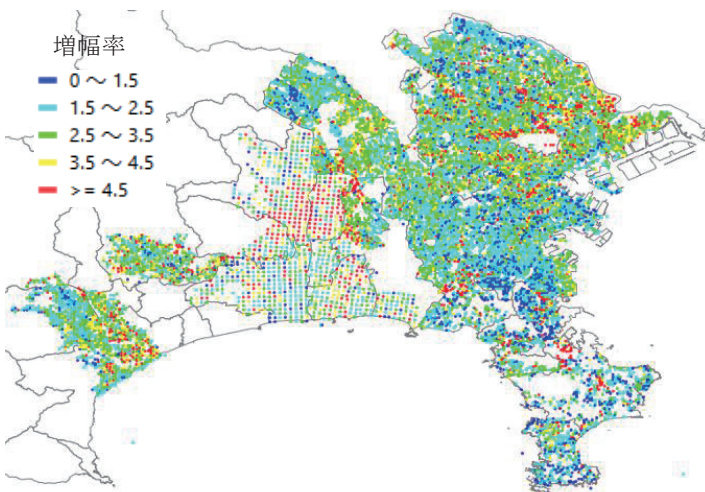


図 6 微動による増幅率分布

は小さい(相模平野では、河口付近より上流部増幅率が大きいなど、今後さらなる分析が必要)。

微地形区分と、微動による卓越周期・増幅率の分布を図 7、図 8 に示す。ばらつきは大きいものの、卓越周期は丘陵地やローム台地と比べ、自然堤防や後背湿地、埋立地では長い傾向がある。増幅率は、相対的に埋立地のみが卓越周期の分布とは逆の傾向になるが、全体には卓越周期の相関と整合する傾向が認められる。なお、卓越周期ほど顕著な相関は認められない。

微地形区分から求めた増幅率と、微動による卓越周期・増幅率でも同様な検討をおこなった結果を図 9、図 10 に示す。それぞれ、微地形による増幅率が大きければ微動の卓越周期や増幅率も大きいとの傾向が見られる。

### 4. 2 ハザードマップの作成

微動の H/V スペクトル比のピークに着目して、卓越周期と増幅率からハザードマップ作成を試みる。既往の地震ハザードマップ作成においては、既存のボーリングデータを用いて地盤モデルを作成することが一般的<sup>9) 10)</sup>だが、ボーリングデータ数には地域的な偏りがあるため、データ数の少ない地域では地盤モデルの精度に疑問が残る。そこで高密度な微動観測結果を用いて、地盤の危険度を均一に評価する。

一般に地震動の周期が長く、振幅が大きいほど、構造物に与える影響の度合は大きくなると評価される。すな

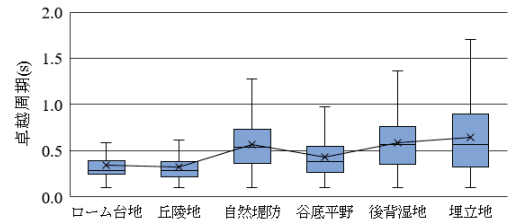


図 7 微地形区分と微動の卓越周期の分布

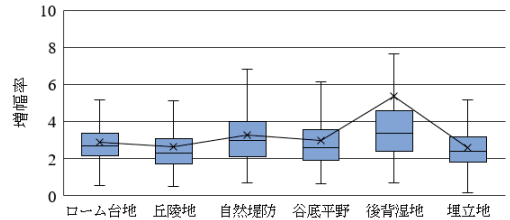


図 8 微地形区分と微動の増幅率の分布

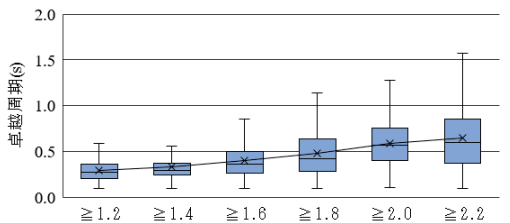


図 9 微地形の増幅率と微動の卓越周期の分布

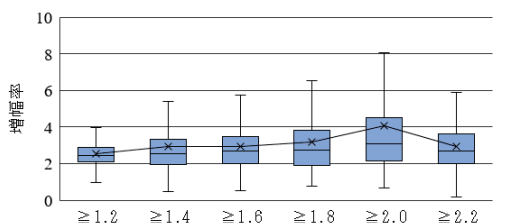


図 10 微地形の増幅率と微動の増幅率の分布

わち地震動のエネルギーが大きくなるためである。そこでハザードマップを作成するにあたって、表層地盤の震動特性である卓越周期と表層地盤の増幅の度合いを示す増幅率を掛け合わせたものをエネルギーと同等なものとして仮定した。そのエネルギーの相対的な大きさをその地点の地盤の相対的な危険度と評価し、ハザードマップの作成を試みた。ハザードの評価式としては、式(1)を用いた。

$$P_E = T_0 \times A_m \quad (1)$$

$P_E$ : ハザード、 $T_0$ : 卓越周期、 $A_m$ : 増幅率

算出結果より作成したハザードマップを図 11 に示す。川崎市川崎区や横浜市港北区、西区はハザードが高い地域が多く、県の中央地域も広範囲でハザードが高いことがわかる。比較のため図 11 (a) には文献 10 にある揺れやすさマップを示す。両者の図は危険とされる場所を似た傾向で表している事がわかる。大和市周辺で異なる傾向が見られるが、これは揺れやすさマップのボーリングデータが少ないことが一因と考えられる。

## 5. まとめ

本研究では、これまで継続的に実施してきた高密度単点微動観測で得られた地盤震動特性情報のデータを統合化し、微動 H/V スペクトル比のデータベースを構築した。データベースの分析より、微動の卓越周期や増幅率は、微地形区分や微地形から得られる増幅率と相関関係が認められた。また、その結果を用いて微動の H/V スペクトル比のみの情報からハザードマップの作成を試みた。その結果を以下に示す。

- ・微動の卓越周期と微地形から、丘陵地やローム台地のような卓越周期が短い地点では、ばらつきも小さく、卓越周期が安定している。一方、埋立地や自然堤防、後背湿地では卓越周期も長く、ばらつきも大きい。
- ・微動の卓越周期と微地形の増幅率から、ある程度両者の整合性が認められ、卓越周期が長いと増幅率が大きいという調和的な傾向が認められた。
- ・微動の結果のみからハザードマップを作成し、神奈川県全体としては、相模平野南部や東京湾沿岸部（主に横浜市・川崎市）など限定された地域で危険度が高く、これは既往検討と概ね整合してる。

今後は、卓越周期と増幅率を用いたハザードの評価手法に対する検討や、神奈川県内での地形や水系の違いによる分析を進めたい。また、加えて筆者らは、近年急速

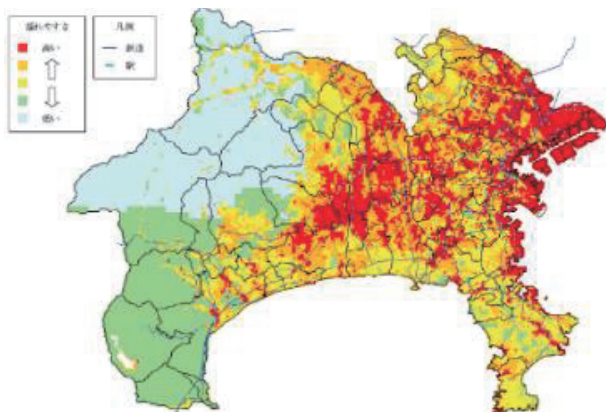
に利用が広まっている極小微動アレイ観測を用いた地下構造探査<sup>11)</sup>を用いた地下構造の推定も神奈川県内で実施している。<sup>12)</sup> などその結果との比較なども進めたい。

## 【謝辞】

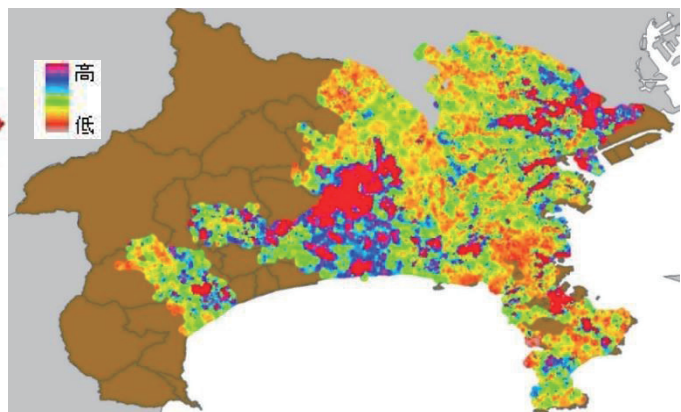
本論文で用いた微動観測データは、研究室の歴代の多くの大学院生、卒業研究生や、共同研究者である関東学院大学・精木紀男研究室による研究成果を利用させていただいた。また元神奈川県立大学・山本俊雄氏には観測計画や観測実施に多大なる支援をいただいた。記して感謝します。最後に、全体を通して松田磐余先生には地形・地質学的な観点から随所に貴重なご指導をいただきました。記して深甚なる謝意を表します。

## 【参考文献】

- 1) 日本建築学会：地盤震動 ー現象と理論ー、2005
- 2) 時松孝次・田村修次：3 次元多層地盤における地表面鉛直加振の応答変位に対するレイリー波と実体波の寄与、日本建築学会構造系論文集、第 476 号、pp.95-101、1995
- 3) 落合努、山本俊雄、服部秀人、荻本孝久：高密度微動観測を用いた相模平野の表層地盤特性のゾーニングに関する研究、地域安全学会論文集 No.5、pp.21-26、2003
- 4) 上野直洋、荻本孝久、山本俊雄：GIS による横浜市高密度微動観測結果の卓越周期分布の整理・検討、第 13 回日本地震工学シンポジウム、pp.2011-2018、2010
- 5) 地盤工学会 関東支部神奈川県グループ：大いなる神奈川の地盤、2010
- 6) 落合努、栗山利男、橋本光史、荻本孝久、露木延夫、山本俊雄：デジタル詳細地域危険度マップ作製と防災活動支援に関する研究、第 13 回日本地震工学シンポジウム、pp.2035-2038、2010
- 7) 防災フロンティア HP：<http://bousai-frontier.net/>
- 8) 総務省統計局：地域メッシュ統計について、[http://www.stat.go.jp/data/mesh/m\\_tuite.htm](http://www.stat.go.jp/data/mesh/m_tuite.htm)
- 9) 内閣府（防災担当）：地震防災マップ作製技術資料、2005
- 10) 神奈川県地震被害想定調査委員会：神奈川県地震被害想定調査報告書、2015
- 11) 長郁夫、先名重樹：極小微動アレイによる浅部構造探査システム-大量データの蓄積と利活用に向けて-、Synthesiology Vol.9 No.2、pp.86-96、2016
- 12) 落合努、先名重樹、馬赫、犬伏徹志、荻本孝久：常時微動を用いた浅部地下構造探査による地盤構造の推定 - 秦野盆地を対象として -、第 14 回日本地震工学シンポジウム、pp.3017-3024、2014



(a) 揺れやすさマップ  
(神奈川県地震被害想定調査報告書)



(b) 提案した指標を用いたハザードマップ

図 11 ハザードマップ