

マイクロゾーニングにおける微動活用法の検討 —その1 横浜市を対象とした高密度観測—

Investigation on Practical Use of Microtremor Observations for Microzoning Part 1 Densely Microtremor Observations in Yokohama City

○上野直洋¹, 栗山利男², 山本俊雄³, 荏本孝久³, 松田磐余⁴
Naohiro UENO¹ and Toshio KURIYAMA² and Toshio YAMAMOTO³ and
Takahisa ENOMOTO³ and Iware MATSUDA⁴

¹神奈川大学大学院工学研究科

Engineering Course of Graduated School, Kanagawa University

²構造計画研究所

Kozo Keikaku Engineering Inc.

³神奈川大学工学部

Faculty of Engineering, Kanagawa University

⁴関東学院大学名誉教授

Emeritus Professor, Kanto Gakuin University

We performed a dense survey of the site characteristics distribution in 18 wards of Yokohama City, by mobile microtremors measurements. Mmicrotremors measurement is a very useful method for obtaining ground dynamic characteristics, including the predominant period and the site amplification factor. In this survey the spatial distribution of the microtremor's predominant period were mapped over geological data in a GIS base system. Also spatial illustration of the observed information and analyzed spectra are stored in a digital database for microtremors.

Keywords : Yokohama City, Mmicrotremors measurement, GIS, Ground dynamic characteristics, The predominant period, Seismic Microzoning

1. はじめに

近年、地震に対しての被害予測が都道府県規模で行われ、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。こうした調査活動の背景には、地盤構造に起因する地盤震動特性をより詳細に把握することの重要性が含まれていると思われる。地震動が震源特性、伝播特性、地盤特性の影響を大きく受け、同じ規模の地震が発生した場合でもそれぞれの特性の違いにより被害に地域的な差異が生じることが指摘されている。このようなことから防災対策において伝播特性や地盤特性、地下構造の関係を比較検討することは必要不可欠であり、特に表層地盤の震動特性を明らかにするために種々の方法によって検討が行われており、常時微動観測もその中の一つに数えられる。本研究では横浜市を対象として実施した高密度な微動観測結果を用いて、やや詳細な地盤振動特性（卓越周期）を整理・検討して、被害予測などに有用なサイスミックマイクロゾーニングに活用することを検討する。

これまでの観測および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、レイ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固有の卓越周期を推定することが可能であるとされている。地盤振動特性を把握する方法としては、対象地域の正確な地下構造のデータを把握できるボーリング調査が望ましいが時間や大きな費用が必要となる。そのため簡易に地盤震動特性を把握することができる微動観測が注目され、数多くの研究が

なされている。地震に対しての被害予測が市町村規模でも期待されているのは前述したとおりであるが、それは場所が数十メートル離れただけでその場所での地盤特性は著しく異なるということは経験的な事実となっている。本研究では、これまで継続的に実施してきた横浜市の高密度微動観測によって求められた卓越周期分布について、地盤振動特性を把握しサイスミックマイクロゾーニングに活用するために、GISを用いて微動観測データを整理し表示することを試みた。

2. 横浜市の地形・地質

横浜市の地形は、丘陵地・台地・段丘・低地・埋立地に分けられる。丘陵地と台地が市域全体の約7割を占め、残りの約3割が河川に沿った沖積低地と臨海部の埋立地から成っている。

丘陵地は市域中央部よりやや西よりに分布し、市域を南北に縦断する。この丘陵地は保土ヶ谷区・旭区などを流れる帷子川付近を境に北側と南側で性質が異なる。北側の丘陵地は多摩丘陵の南端に位置し、標高は60mから100mで北に向かって高くなっている。南側の丘陵地は三浦半島に続く三浦丘陵の北端部を占め、標高は80mから160mで南に向かって高くなっている。

台地・段丘は丘陵地の東西にある。東側の台地は鶴見区の地名を取って下末吉台地と呼ばれ、標高は40mから60mで鶴見川付近まで続く。西側の台地は相模原台地の東端にあたり、標高は30mから70mで南に向かって低く

なっている。また、丘陵地と台地は浸食が進み、谷の地形は樹枝状に広がり、起伏に富んだ地形をしている。鶴見川、帷子川、大岡川、柏尾川、境川及びその支流は下方浸食と側方侵食が進み、上総層群を刻み込んで層の厚い沖積層が形成されている。横浜市に分布する地質は、上総層群が横浜市の基盤を形成し、相模層群が不整合に覆い丘陵地と台地を形成している。低地には丘陵地や台地を刻む河川の谷底低地と沿岸部の海岸低地とがある。沿岸部には軟弱地盤地域が広がり、その層厚は深い地域で40m~50m程度に達している。また、海岸部には埋立地が造成され、海岸線はほとんどが人工化されている。島としては金沢区の野島（八景島は人工島）があり、野島海岸が横浜で唯一の自然海岸となった。図1として横浜市の地形・地質図を示す。

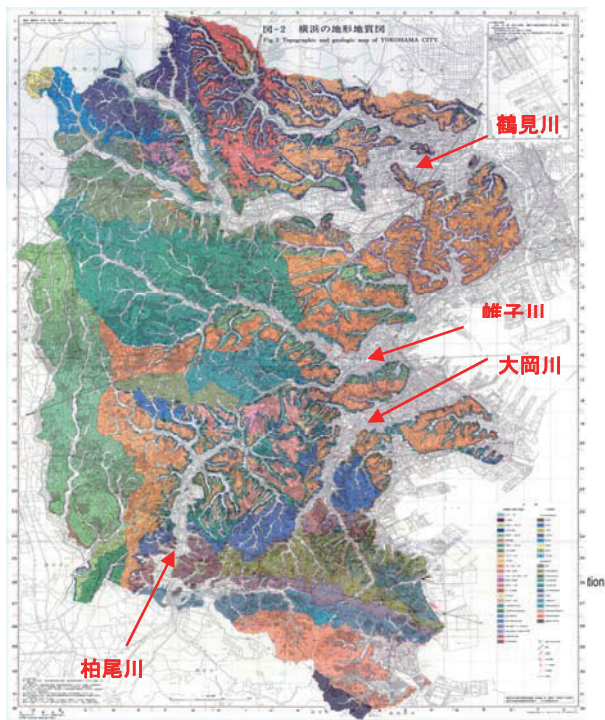


図1 横浜市の地形地質図

3. 観測地点

横浜市全域を250m×250mメッシュで区切り、その中心付近を常時微動観測点とした。地理的な条件により観測不能地点を除き、約6300地点の観測を行った。観測はサーボ型速度計を使用し、水平方向2成分(NS, EW)、上下方向1成分(UD)の3成分の観測を行った。メッシュは横浜市の19体系座標のメッシュ体系に基づいたものとし、メッシュ番号もそれに準じたものとする。

4. 微動観測の観測方法と解析方法

微動観測は、サーボ型速度計（東京測振：SPC-35 および SPC-51）を用いてサンプリング周波数100Hz、観測時間180秒の設定により18000個の速度データ（水平方向2成分、上下方向1成分の計3成分）の観測を行った。

微動センサーは1chをNS成分(水平・南北方向)、2chをEW成分(水平・東西方向)、3chをUD成分(上下方向)とし、予め予定した観測地点(約250m間隔)周辺の平坦な場所において、1chおよび2chは方位磁石を用い方向を合わせ、3chは微動センサー本体についている水準器により水平を確定し設置した。

微動観測装置は可搬性の良いポータブルな装置であり、

各観測地点において微動計・アンプ・A/Dポートを順次接続し、PCを起動させ微動観測用ソフトにより観測を開始させ、観測終了後に撤収して次の観測地点に移動する方法で移動観測を行っている。同時に観測地点のGPSによる位置情報(緯度、経度)や周囲の状況などを野帳に記録した。

解析は、1ウィンドウを20.48秒とし移動処理による振幅レベルで選択する。スペクトル解析には同一のプログラムを採用し、Parzen's Windowによる平滑化を施す。概ね、0.1秒から1.5秒付近で卓越周期選定する。解析は、自動処理解析ソフトを作成してH/Vスペクトルを算定した上で、出力結果から卓越周期を抽出した。

5. 卓越周期分布

横浜市は全体で18の行政区に分かれている。地形・地質は図1に示したように北西部から東部に掛けて台地・丘陵地が広がり、東部の低地へと続いている。また、台地・丘陵地を開析して流れる河川が発達している。ここでは、微動のH/Vスペクトル比から抽出した卓越周期の分布をGISを用いて各区毎に整理して図に示した。図2~図4には、各区毎の卓越周期分布図を示した。図2は、横浜市北部の5区(青葉区、都筑区、緑区、港北区、鶴見区)を対象として図示したものであり、図3は、横浜市中心部の7区(瀬谷区、旭区、保土ヶ谷区、神奈川区、南区、中区、西区)を対象とし、図4は、横浜市南部の6区(港南区、南区、磯子区、戸塚区、金沢区、栄区)を対象として図示してある。図より各区において、地形・地質および地盤の性状に起因する卓越周期の分布が認められている。

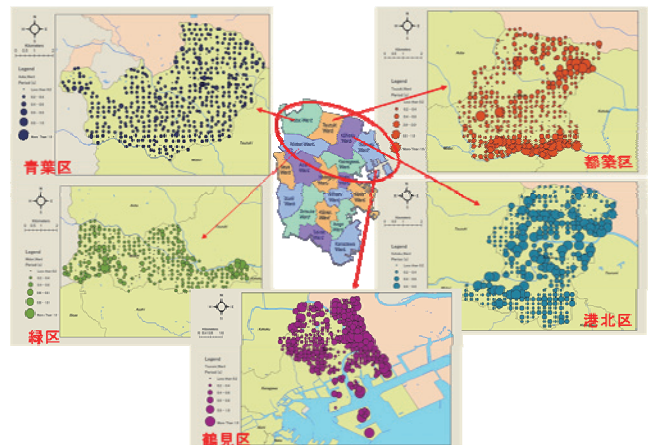


図2 横浜市北部の各区の卓越周期分布図

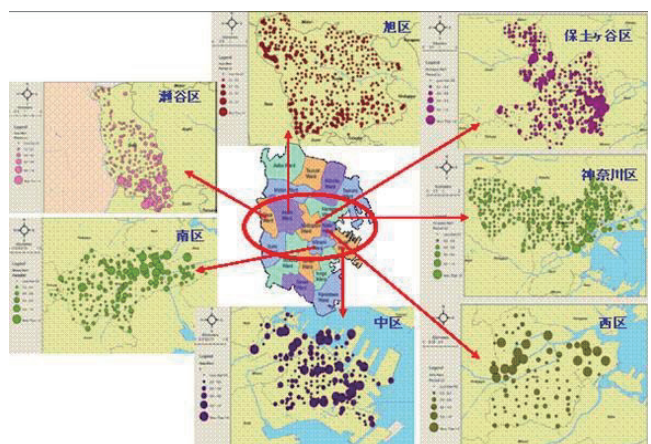


図3 横浜市中心部の各区の卓越周期分布図

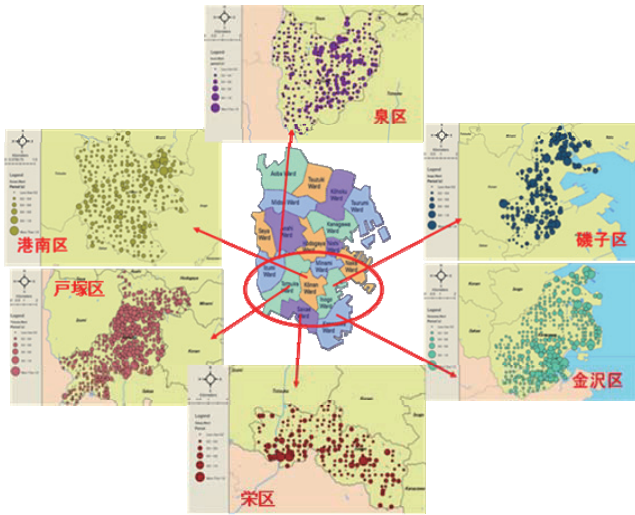


図4 横浜市南部の各区の卓越周期分布図

6. 卓越周期分布と地形・地質の検討

横浜市の卓越周期の分布図から、全体的には標高の高い西部から標高の低い東部にかけて徐々に卓越周期が長くなる傾向が認められる。特に、この傾向は横浜市の地形・地質の特徴である台地・丘陵地を開析して流れる河川の流域に沿って顕著になっている。鶴見川、帷子川など代表的な河川流域の地域についてみると、横浜市西部の台地・丘陵地側になるにつれて標高が高くなり河川が上流に位置するため河川の標高も相対的に高くなるため堆積層厚が減少して卓越周期は短くなる傾向を示す。一方、下流になるにつれて流下する堆積層が滞留・増加し、卓越周期も徐々に長くなる傾向が顕著に認められる。これは、台地・丘陵地の地域では河川勾配がやや急に傾斜しているため軟弱な地盤を形成する堆積層が堆積せず下流側へ流下したためと考えられる。軟弱な堆積層が厚く堆積し、なおかつ埋土で軟弱地盤の層厚を増しているため、横浜市東部の沿岸部の河川河口部を中心とした埋立地域の地帯においても卓越周期が長い地点が多数存在していることが認められる。

一方、西側内陸部の旭区や泉区などでは、標高が高くなるにつれて卓越周期が長くなる傾向が認められる。すなわち河川流域など標高の低い低地側あるいは臨海部とは逆の現象が認められたことになる。これは、区の山側（台地・丘陵地）の表面にローム層が堆積しているため、ローム層の堆積厚さにより卓越周期が長くなったと考えられる。このため、標高と卓越周期の比較では、標高が高くても堆積しているローム層などの表層地盤の地盤構造によって卓越周期が長くなる傾向が認められた。

7. 微地形区分図および地盤増幅率図との検討

これまでに神奈川県を対象として地震防災の観点から内閣府「地震防災マップ作成技術指針・2005年」に基づいて、詳細な微地形区分図と地盤増幅率図をGISを用いて作成している。これらの図は既往の紙ベースの地形図と表層地質図をデジタル化して、50mx50mメッシュ毎に判読して作成したもので、詳細な表層地盤特性を反映したのものとなっている。ここでは、これら2種類の地図と卓越周期分布について整理・検討した。

1) 卓越周期分布と微地形区分図

微地形区分図上に卓越周期分布を重ね合わせた。詳細

に検討すると、横浜市では人工改変地（凡例区分）が多く、卓越周期の分布と微地形区分との対応において安定して明瞭な対応関係は認め難い傾向を示しているが、全体的な傾向としては微地形区分に対応した卓越周期分布を示している。

これは、横浜市内陸部が、台地・丘陵地で起伏に富んだ地形をしており、しかも表層をローム層で覆われているとともに宅地造成などによる人工改変地が多く分布することによって考えられる。人工改変地は台地・丘陵地を削った切土地盤は堅固で安定しているため卓越周期が短くなり、盛土地盤は新しく人工的に盛った地盤であるため、その盛土層厚や材料により不安定で卓越周期が変動し、相対的にやや長くなる傾向があるものと考えられる。

埋立地・干拓地（凡例）にも大きなバラつきが見られた。これは、旧海岸線より西側の埋立地・干拓地は以前丘陵地だったところを埋め立てているため軟弱地盤層厚が薄くて卓越周期が短くなり、旧海岸線より東側の埋立地・干拓地は海を埋め立てているため既存の堆積層と合わせて軟弱地盤層厚が相対的に厚くなるために卓越周期が長くなったものと考えられる。

2) 卓越周期と地盤増幅率図

地盤増幅率は微地形区分と対応しており、地表面下の工学的基盤から上層の表層地盤の速度増幅率として定義されている。従って、増幅率が大きくなる地域は相対的に地盤が軟質であることを示している。そのため、地震防災の観点からは地盤増幅率が高い、すなわち軟弱な地盤の地域では建物倒壊などの被害が多くなる可能性があり、また震源から遠くても、軟弱な地盤地域の方が揺れが激しくなることが予想されることになる。図5に地盤増幅率図上に卓越周期分布を重ね合わせた図を示す。横浜市の地盤増幅率は埋立地が2.0以上となり、西側の内陸地域に向かうにつれて増幅率の値が小さくなっていく傾向が見られ、卓越周期分布図とやや明瞭な相関性が認められる。

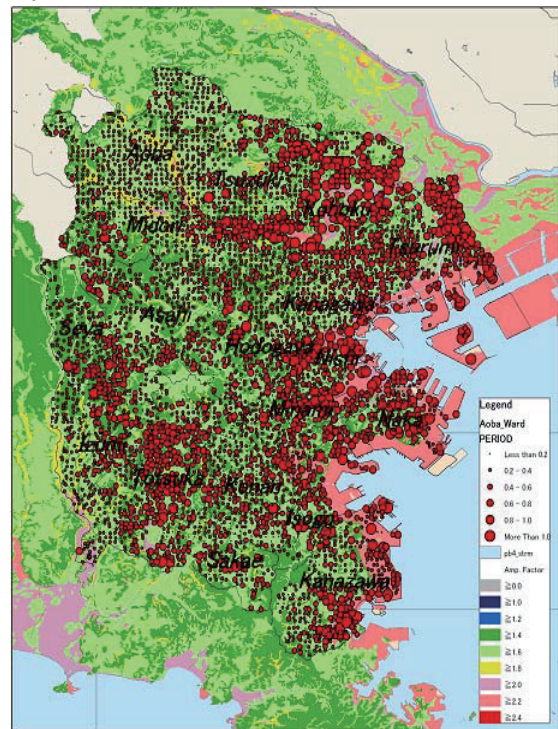


図5 増幅率図と卓越周期分布との重ね合せ図

8. 卓越周期分布に関する考察

以上に示したように卓越周期の分布に関しては、マクロに見ると地形・地質図および微地形分布図や地盤増幅率図との整合性が認められている。しかしながら、東部の臨海地域の低地部に卓越周期の短い観測点が認められたり、西部の丘陵地・台地の比較的標高の高い地域に卓越周期の比較的長い地域が分布している地域があることが確認される。ここでは、一例として東部の神奈川区・西区と西部の緑区を対象として、卓越周期と観測地点の標高との関係について検討した。図6に神奈川区・西区の例を示し、図7に緑区の例を示した。

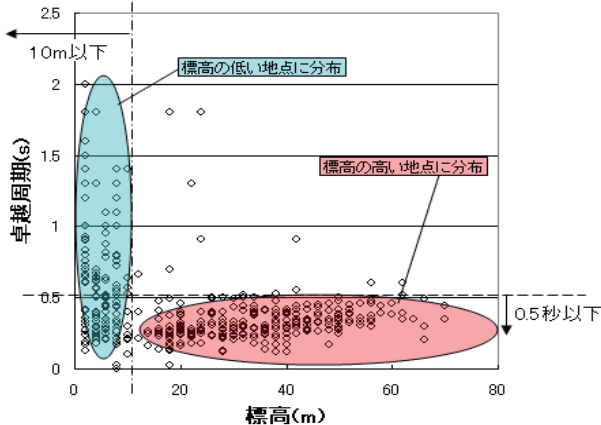


図6 卓越周期と標高の関係(神奈川区・西区の例)

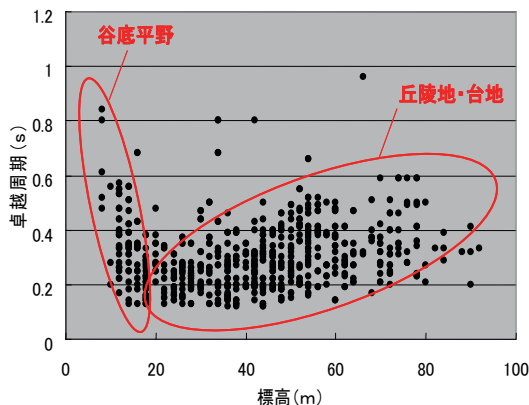


図7 卓越周期と標高の関係(緑区の例)

神奈川区・西区においては、標高約10mを境に卓越周期分布に異なる傾向が見られ、標高10m以下の低地では卓越周期は相対的に長く、明確ではないがやや左上がり傾向を示している。一方、標高の高い丘陵地・台地では卓越周期は約0.5秒以下と全体的に短く、やや右上がりの傾向を示している。この傾向は、西部の緑区の例においても明瞭に認められている。この傾向は、標高の低い低地部では表層の軟弱地盤層厚と大きく関連し、標高の高い丘陵地・台地では表層のローム層厚の影響を受けているものと考えられ、より詳細な検討が必要である。

9. まとめ

横浜市の高密度微動観測によって求められた卓越周期分布について、地盤震動特性を検討する上で活用することを目的として GIS を用いて整理・検討することを試みた。GIS を用いて整理した横浜市内 18 区毎の卓越周期分布図では、各区の地形・地質および地盤の性状に起因す

る分布傾向を示し、横浜市の地形・地質の特徴である西部の台地・丘陵地から東部の低地に至る地形・地質の変化と両者を結ぶ河川流域の堆積地盤環境と明瞭に整合する卓越周期の分布傾向が認められることが分かった。

横浜市の卓越周期の分布を地域的に詳細に見ると、横浜市中区では人工改変地が多く、また北西部に広がる台地・丘陵地の表面にはローム層が不規則に堆積しているため急激に変化する地域が認められた。特に台地・丘陵地において、卓越周期の分布が不規則に変化して、あまり安定した傾向は認め難い地域であることも分かった。全体的な傾向としては、上述したように標高の高い西部から標高の低い東部にかけて徐々に卓越周期が長くなる傾向が認められている。

より防災的な観点から作成された微地形区分図や地盤増幅率図と卓越周期の分布を重ね合わせた結果からは、全体的には卓越周期分布と両者の図とは地形・地質を反映して良好な相関性が認められた。特に、微地形区分図では台地・丘陵地に広く広がる人工改変地(凡例)が分布していることにより相関関係がやや不明確になるが、地盤増幅率図と卓越周期分布とは明瞭な相関関係が認められることが分かった。今後は、本研究で得られた知見に基づいてボーリング資料の収集などにより、より詳細な整理・検討を実施していく予定である。

参考文献

- 1) 横浜市環境研究所：横浜市地形地質図、横浜市、2004年
- 2) 落合 努、杉本 実、露木延夫、山本俊雄、荏本孝久：表層の地盤情報抽出を目的とした高密度微動観測による地盤振動特性の検討、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、2006年9月、pp. 313-314
- 3) 荏本孝久、山本俊雄、石井 匠、杉本 実、マニエル・ナバロ：横浜市における常時微動および強震観測記録によるH/Vスペクトル比特性の比較検討、第12回日本地震工学シンポジウム、2006年
- 4) 落合 努、山本俊雄、露木延夫、荏本孝久：横浜市青葉区における高密度微動観測による地盤振動特性の検討、日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)、2007年9月
- 5) 先名重樹、翠川三郎、若松加寿江：常時微動のH/Vスペクトル比と地形・地盤分類を用いたスペクトル増幅率の推定、日本地震工学学会論文集、第8巻 第4号、2008年
- 6) 山本俊雄、落合 努、荏本孝久、フミヤン・マホムド：横浜市中区・南区・磯子区・港南区の高密度微動観測による地盤振動特性の検討、日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)、2008年9月
- 7) T. Enomoto, M. Rahimian, M. Navarro, N. Tuyuki and T. Yamamoto: Geographic Illustration of Microtremors Observation in North Yokohama, Japan, 9th International Workshop on Seismic Microzoning and Risk Reduction, 2010
- 8) M. Hashimoto, T. Kuriyama, N. Tuyuki, T. Yamamoto, M. Rahimian, T. Enomoto: Development of Micro-Landform Database and its Application for Detailed Mapping of Site Amplification Factors in Kanagawa Prefecture, Japan, GIZ2009, Geo-Informatics and Zoning for Hazard Mapping, Dec. 2009