

# 微動H/Vスペクトル比による表層地盤震動特性の評価に関する研究 —卓越周期の推定による地盤増幅率の検討—

Study on Evaluation of Surface Ground Shaking Characteristics by  
H/V Spectral Ratio of Microtremors

– Investigation of Soil Amplification Derived From Estimated Predominant Period –

○ 荏本孝久<sup>1</sup>, 栗山利男<sup>2</sup>, 落合 努<sup>2</sup>, 上野直洋<sup>3</sup>, 山本俊雄<sup>1</sup>

Takahisa ENOMOTO<sup>1</sup>, Toshio KURIYAMA<sup>2</sup>, Tsutomu OCHIAI<sup>2</sup>, Naohiro UENO<sup>3</sup>  
and Toshio YAMAMOTO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 神奈川大学工学部 建築学科

Department of Architecture and Building Engineering, Kanagawa University

<sup>2</sup> 構造計画研究所(株)

Kozo Keikaku Engineering Inc.

<sup>3</sup> 神奈川大学大学院工学研究科

Engineering Course of Graduate School, Kanagawa University

The ground shaking characteristics, predominant period and amplification, due to surface soil structure are very important for the seismic microzoning. A simple method for estimation of predominant period is to use the H/V spectra ratio based on microtremor. Up to now, we investigated the predominant period distribution by performing the dense microtremor observation in Yokohama City. Then, we summarized the H/V spectra observed in Yokohama City and made a database of predominant period and landform classification, lowland and table land according to the history of landform development in Yokohama City. Using such kind of analytical results, we investigated the amplification due to surface soil structure by using the estimated predominant period by H/V spectral ratio.

**Keywords :** Shaking characteristics of Surface soil, Predominant Period, Amplification, H/V Spectral Ratio, Microtremor Observation, 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てきた。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。また、近年施行された限界耐力設計法による耐震設計において地盤振動特性Gsが導入されている。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。特に表層地盤の震動特性を明らかにすることが重要で、その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一つに数えられる。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、GISを用いて整理し微動H/Vの卓越周期について検討した。これらの情報を活用して、ボーリングが不可能な場所でも、建設地または近隣で常時微動観測を行い、H/Vスペクトル比を用いて地盤震動特性Gsの評価する方法を提案することを目的とする。

## 2. 微動H/Vスペクトル比の解釈

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。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。そのため、高密度な観測が必要となっている。

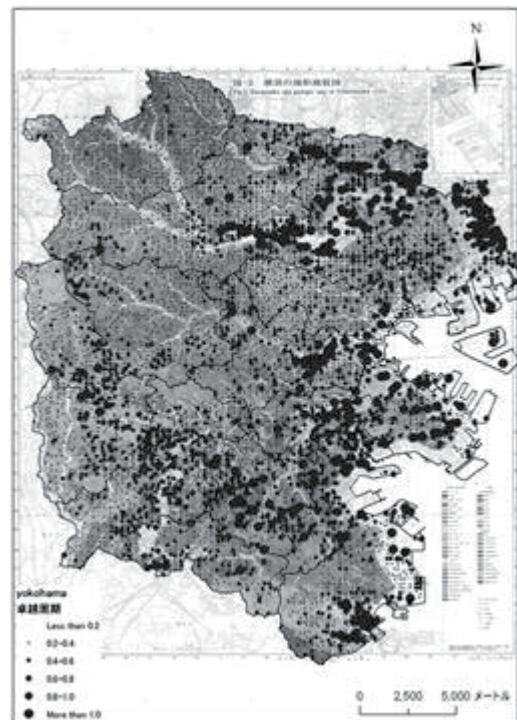


図1 卓越周期分布図

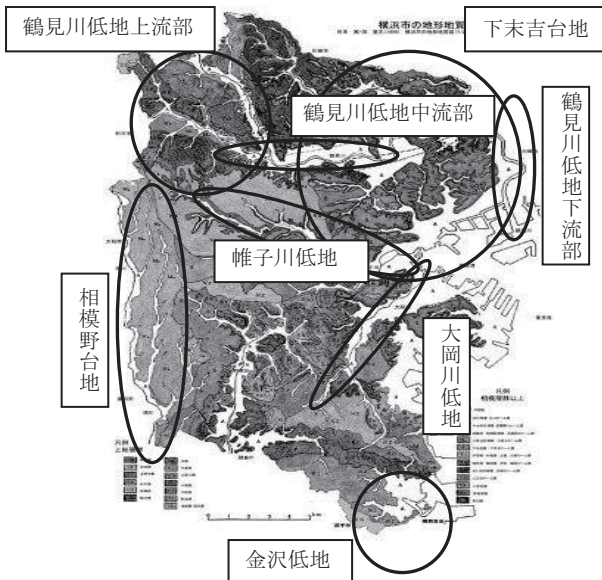


図2 横浜市の地形地質図

### 3. 常時微動の高密度微動観測

#### 3.1 横浜市高密度微動観測

横浜市の高密度微動観測は、詳細な地盤震動特性を明らかにすることを目的に平成17年度から順次実施してきた。観測点は横浜市全域を250mメッシュで区切り、その中心付近を観測点とし地理的な条件などにより観測不可能な地点除いた約6500地点である。また、常時微動観測はサーボ型速度計を用いて、サンプリング周波数100Hz、観測時間180秒とした。図1に卓越周期分布図を示した。卓越周期は横浜市の地形・地質および地盤とよく対応する結果を示している。

#### 3.2 微動H/Vスペクトルと地形・地盤との関係

いわゆる工学的基盤上の堆積物は丘陵地、台地、低地の地形を形成し、これらの地形の形成史は地球の気候変動とそれに伴う氷河性海面変動による海面高度の昇降、地殻変動による隆起と沈降の影響を強く受けている。すなわちこれらの外的条件に地形を造ってきた河川がどう反応したかにより地盤条件は異なってくる。地形の形成が複雑な横浜市の低地・台地を対象としその常時微動観測・解析データのデータベースを作成し、地形発達史に基づいた地形区分を行いその地形ごとの地盤振動特性を検討し、地盤震動特性と地形効果との相関性を検証した。また、都市に普遍的に存在する低層・中層の建物の地震被害に重要となる2秒程度以下の卓越周期の場合には、卓越周期は表層部の堆積物の性質と厚さに依存すると考えられる。そこで、常時微動の卓越周期を $Y(s)$ 、沖積層厚を $X(m)$ として、

$$Y = AX + B \quad (1)$$

の回帰式で両者を関係付ける。Aの値は沖積層1mあたりの卓越周期への寄与率を示し、Bは沖積層よりも下位の堆積物の卓越周期の寄与率を示す。また、地形の形成史を考慮した地域区分を図2に示し、上記の式により得られた係数A、Bを線形回帰分析より算定した結果を図3、4に示した。

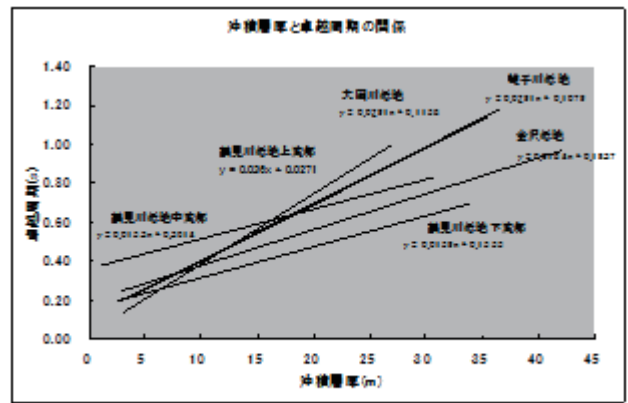


図3 低地の卓越周期と未固結層厚との関係

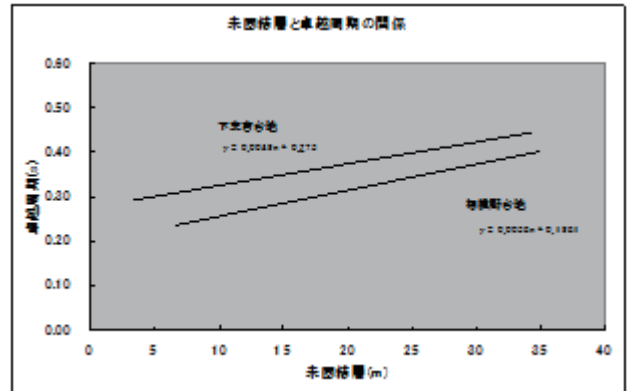


図4 台地の未固結層と卓越周期の関係

#### 3.3 H/Vスペクトルの分類

H/Vスペクトルについて表1に示すように、明瞭なピークが一つだけ認められる場合 (Type-1: 容易に卓越周期が判読可能)、2個以上多数のピークが認められる場合 (Type-2: 専門的知見に基づき卓越周期の判断が必要)、に区分した。表2にタイプ別の観測点数を示す。表2よりH/Vスペクトルから容易に卓越周期求められる地点1670点 (約26%)、ピークが2個以上あるが、専門的知見 (対象地点および周辺のボーリング柱状図、地形・地質情報など) から卓越周期が推定可能な地点が4476点 (約69%) であり、H/Vスペクトルからは卓越周期は判読不可能な地点は318点 (約5%) であった。

#### 3.4 地形分類との対応

Type-1とType-2の分布を比較すると、Type-2が支配的な地域については局所的に認められるが、Type-1が支配的な地域は特定できない。横浜市の地形を丘陵地、台地、低地に分類し、Type-1となる観測点の比率を求めた。その結果、Type-1となる観測点比較的多いのは丘陵地1、台地1であるが、例えば丘陵地でも丘陵地3ではType-1となる地点はほとんどない。H/Vスペクトルから地盤の卓越周期を容易に推定することができる地点は横浜市においては全体の3割弱であったが、ボーリング柱状図や周辺の地形・地質や地盤情報などを参考にすれば卓越周期の推定が可能な地点を含めると、約95%の地点で卓越周期を推定することができ、地域分類を加味することにより、常時微動観測は地盤の卓越周期を知る有効な手段の一つとなることを示した。地域分類を加味することにより、常時微動観測は地盤の卓越周期を知る有効な手段の一つとなることを示した。

表1 H/Vスペクトルのタイプ



	Type - 1 卓越周期が容易に判読可能
	Type - 2 専門的知識に基づき判読可能

表2 地形分布と観測点

地形	構成層	観測数	Type1	比率
丘陵地1	土層・土礫ローム層、戸塚・寺尾層	241	94	39%
	早田・舞岡層、鏡見・舞岡層			
丘陵地2	多摩2ローム層、おしぬま砂礫層	704	203	29%
	山王台ローム層、上倉田層、山王大砂丘			
丘陵地3	屏風ヶ浦層、長沼層	227	21	9%
丘陵地4	上総層群	1232	207	17%
台地1	立川ローム層、立川礫層	31	14	45%
	武蔵野ローム層上部・中部・下部			
台地2	中台段丘礫層、武蔵野礫層、小原台砂礫層	581	196	34%
	下末古ローム層、下末古層			
台地3	下末古ローム層、下末古層	816	227	28%
低地	低地	2314	708	31%
合計		6146	1670	27%

4. 山梨県・千葉県・茨城県・横浜市の常時微動観測

横浜市では、常時微動観測の有用性が証明できたが、他の異なる地域でもH/Vスペクトル比から表層地盤固有の卓越周期を推定することが可能であるのか、ボーリングデータの伝達関数と比較・検討するために、山梨、千葉、茨城県、横浜市のボーリング位置で観測時間600秒として、観測を行いボーリングデータから算出される理論値と実測値を比較した。各地域の結果例を図5から図8に示す。観測地点選定は微地形区分から行い、山梨県の扇状地や後背湿地、千葉県の三角州・海岸低地や砂礫質台地、茨城県水戸市の埋め立て地、横浜市のローム台地などが表層に堆積している地域を対象とした。なお、理論値はボーリングデータのN値50以上の支持層が十分特定できるもの、敷地地盤と孔口の標高差が5m以内のものを使用し、このデータから次式により換算S波速度Vsを算定し、Vs構造に基づく理論H/Vを求めた。

$$\text{換算}Vs(m/s) = 68.79 \cdot N^{0.171} \cdot H^{0.199} \cdot Yg \cdot St$$

H: 地表面から該当層までの深さ

Yg: 地質年代係数 St: 土質係数

5. 微動H/Vスペクトル比と地盤震動特性Gsの比較

近年施行された限界耐力設計法による耐震設計において地盤振動特性Gsが導入されている。限界耐力計算では表層地盤による加速度の増幅率を表すものとして、表層地盤の種類に応じて国交省が定める方法により算出した数値としてGsを使っている。本論では、微動H/Vスペクトル比から表層地盤の加速度の増幅率Gsを定めることができるのかどうか検討した。複数のボーリングデータに基づくGsの算定にあたって、近隣であっても、その土質構成と層厚N値が同じであるケースは少なく、それぞれから推定される地盤の卓越周期は、地点毎に多少変動するものと考えられる。そのような場合には、それぞれの卓越周期を平均化した周期帯を、その地点の卓越周期帯として使う。その際のGs算定は文献①で提案されている算定方法に微動H/Vスペクトル比を用いて行う。

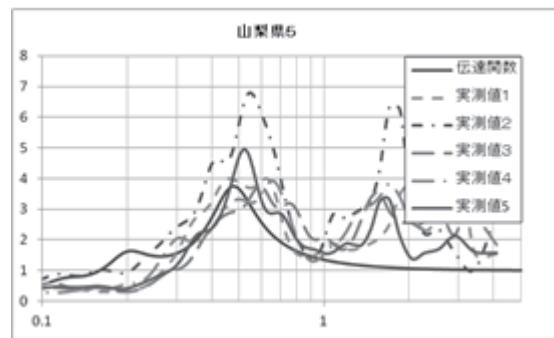


図5 山梨県の常時 H/V 実測値と伝達関数

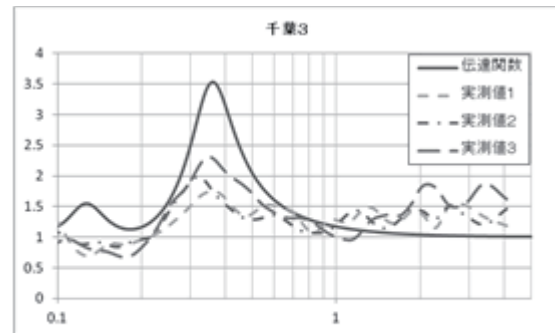


図6 千葉県の常時 H/V 実測値と伝達関数

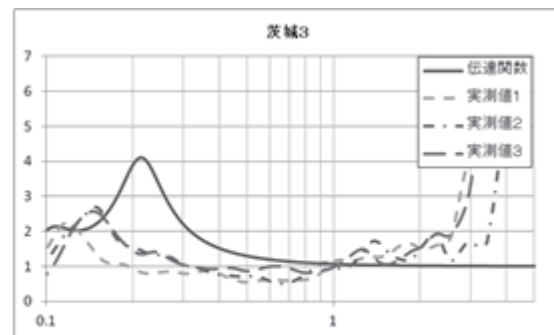


図7 茨城県の常時 H/V 実測値と伝達関数

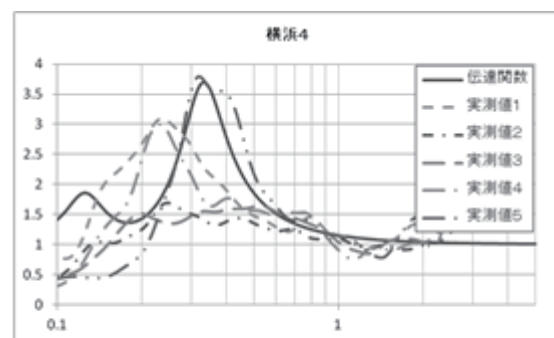


図8 横浜市の常時 H/V 実測値と伝達関数

限界耐力計算で用いられる地盤振動特性Gsの算定法に微動H/Vスペクトル比を用いるものとしてGsとの比較と検討を行う。微動H/Vスペクトル比と地盤震動特性Gsを比較するために、ボーリングデータから告示の方法を用いて算定した表層地盤増幅率を比較した。地域ごとに比較した結果を図9から図12に示す。

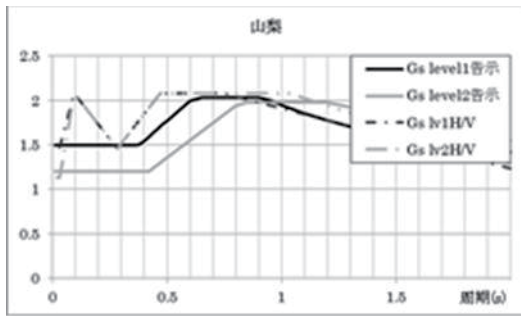


図9 山梨のH/Vと告示のGsの比較

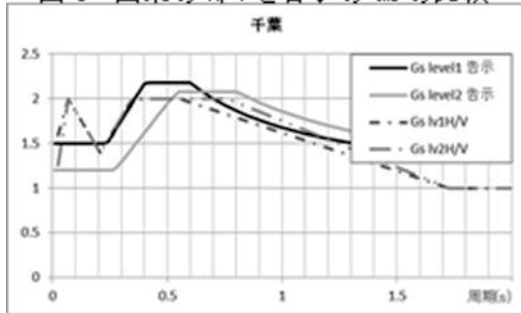


図10 千葉のH/Vと告示のGsの比較

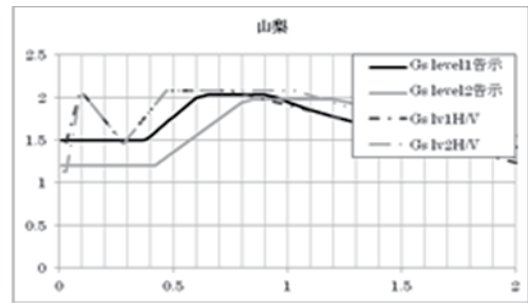


図11 茨城のH/Vと告示のGsの比較

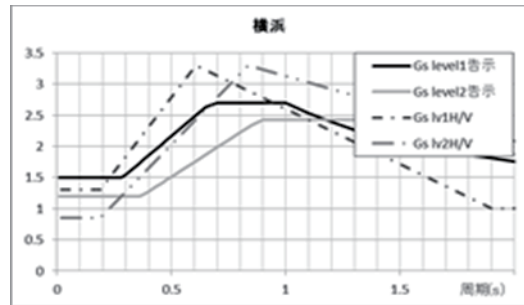


図12 横浜のH/Vと告示のGsの比較

この結果、微動H/Vスペクトル比から算定した地盤震動特性Gsと告示から算定した地盤振動特性を比較したところ、微動H/Vが明瞭な単峰型を示した箇所では告示の表層地盤増幅率と整合性が認められた。しかし、多峰型H/Vの方は整合する箇所としない周期帯が生じた。これは、卓越周期の読み取りの誤差により生じたものと考えられる。また、多峰型でも卓越周期を誤差なく評価ができれば告示で算定された結果と整合する結果になることが分かった。他に整合しなかった事例では、いずれもデータ数が少なく、一定以上の微動測定の数をも平均化して算定した方が有意な平均卓越周期帯として利用できるものと考えられた。

## 6. まとめ

以下に、本研究の結果をまとめる。

- (1) 横浜市全体で約6500点の高密度微動観測を行ってきた。その地盤のH/Vスペクトルから卓越周期が算定できるための条件を分類し、適用できる地盤に関して適用性の検証を行った。その結果、明瞭にわかる単峰型と専門的知識が必要となる多峰型の2つのタイプに分類することで、合わせると横浜で約9割の地点で卓越周期を推定できた。このことから常時微動観測は地盤の卓越周期を知る有効な手段であることを示した。
- (2) 地盤震動特性と地形効果との相関性を検証した結果、地盤震動特性は、その地形の成り立ちや性質・層構造に依存していることは解析結果から明らかであり、地盤震動特性と地形効果の相関性が認められた。このことは微動H/Vの有用性を示し、地盤振動特性Gsの評価法に関する有益な情報であると考えられる。
- (3) 表層地盤の増幅率の評価について限界耐力設計法におけるGsの評価に微動観測結果を用いる方法として、単峰型の場合はほぼ同様に限界耐力計算に使用できると考えられる。今後、微動H/Vの多峰型の場合は如何に有意な卓越周期を読み取るかが課題となる。

## 謝辞

本研究を実施するにあたり、新たに実施した山梨、千葉県および横浜市における常時微動の観測記録は、国土交通省平成23年度建築基準整備促進事業「10 地震力の入力と応答に関する基準の合理化に関する検討」で実施された観測記録を利用させて頂いた。関係各位感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 北川良和, 大川出, 鹿嶋俊英: 設計用入力地震動作成手法, 建築研究資料, 1994. 9概集
- 2) 井上和歌子: 表層地盤による地震動増幅率評価法に関する研究, 日本建築学会技術報告集, 2010. 2
- 3) 小林悟: 横浜市の高密度微動観測による地盤震動特性の地形効果に関する研究, 神奈川大学卒業研究, 2010. 2
- 4) 上野直洋, 栗山利男, 山本俊雄, 荏本孝久, 松田磐余: マイクログロ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-, 地域安全学会梗概集No. 27, 2010. 11
- 5) 山本俊雄, 松田磐余, 上野直洋, 栗山利男, 荏本孝久: マイクログローニングにおける微動活用法の検討-その2 地形・地質条件からのアプローチ-, 地域安全学会梗概集, No. 27, 2010. 11
- 6) 栗山利男, 上野直洋, 松田磐余, 山本俊雄, 荏本孝久: 高密度微動観測による地盤の卓越周期と未固結層厚の関係, 地域安全学会梗概集, No. 28, 2011. 5. 27
- 7) 栗山利男, 上野直洋, 山本俊雄, 荏本孝久: 横浜市の高密度微動観測結果による地盤震動特性に関する研究-その1 H/Vスペクトルに基づく卓越周期-, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), 2011. 8
- 8) 上野直洋, 栗山利男, 山本俊雄, 荏本孝久: 横浜市の高密度微動観測結果による地盤震動特性に関する研究-その2 地形形成史から見た未固結層厚と卓越周期の関係-, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), 2011. 8