

常時微動 H/V スペクトルと地形・地盤震動特性の関係

H/V Spectrum of Microtremor for Evaluation of Geographic Condition and Dynamic Characteristics of Surface Soil

2.構造-2.振動
H/V スペクトル
地震観測記録
常時微動
地質断面図
地盤震動特性
古地図

正会員 ○橋本 朋子 HASHIMOTO Tomoko
正会員 田中 清和 TANAKA Kiyokazu
正会員 福和 伸夫 FUKUWA Nobuo
正会員 護 雅史 MORI Masafumi
正会員 飛田 潤 TOBITA Jun

1. はじめに

地震をはじめとする自然災害は、地形や表層地盤特性に強く影響を受ける。このような災害リスクを正しく評価し、非専門家の一般市民に適切に伝えることを目的として、浮世絵に描かれた風景に着目して地盤条件との関連を検討してきた¹⁾。結果として、浮世絵と現状の風景の比較および常時微動計測結果の対応から、地形改変や都市化に伴う地盤条件や災害危険度の変化を効果的に表現・伝達できることを示している。

本論では、それらの検討の基礎となる常時微動観測と H/V スペクトルによる地盤震動特性評価に関して、分析手法の詳細な検証、地盤条件との関連などについて東京と名古屋の例を挙げて検討を行う。

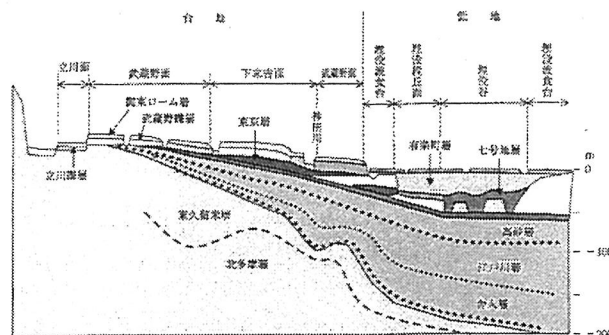
2. 東京都心部における微動計測

2.1 計測対象地域の地盤状況

東京都心部の地形的は台地、低地に区分される。台地では、北多摩層群や東京層群を基盤に、直接又は段丘礫層を介して関東ローム層に覆われている。東京都江東区を東西に流れる小名木川以南は徳川家康の入府以降に埋め立て開発が行われたもので、東京の低地の半分が人工地盤とされる。図1²⁾に示すように、低地は最終氷期のうち最も海面が低下した時期以降に形成された沖積層からなり、埋没地形が存在する。

2.2 計測・分析方法

本論で用いる常時微動計測結果は、計測地点を浮世絵の中に描かれた地点と江戸時代に大規模な地形改変が行われたかつての日比谷入江周辺とし、過去の計測によって得られた微動データを合わせて全144地点分である。計測は2009年から2011年に動コイル型微動計を用いて、水平2方向、上下1方向で行われ、各地点原則1800秒間、微動計の設定を速度、5秒計とした。短周期域については、ノイズの大きいと思われるサンプルを除去し、波形を20.48秒×約70波にした。水平2成分のフーリエスペクトルの振幅の各アンサンブル平均の二乗平方根と、上下成分のフーリエスペクトル

図1 東京の地盤図²⁾

ルのアンサンブル平均との比から H/V スペクトルを求めた。数秒程度の周期域の分析については、波形から振り切れなどの箇所を適宜取り除き、163.84 秒×約7波に分割した。フーリエスペクトルを求めた後、0.025Hz のパーツェンウィンドウで平滑化を行った。

2.3 東京都心部の H/V スペクトルの全体的傾向

微動計測を行った地点を、地点の色の濃さでピークの振動数の大きさを区別して、工学的基盤深さの分布図³⁾へプロットしたものを図2に示す。図2から工学的基盤深さの浅い台地上では卓越振動数が大きくなる傾向があり、東京西部の隅田川周辺や江東区などの厚い沖積層の分布する地域では、卓越振動数が小さくなる傾向を確認した。図3に、計測した地点での H/V スペクトルの卓越振動数毎での H/V スペクトル形状を重ね描いたものを示す。卓越振動数が1~2、2~3Hzの形状については特に地点毎に差はないが、3~4Hzでは顕著に裾野が広がる。またピークの振動数が高くなると、山が2つになる地点もある。全体的には、ピークの振動数が高くなるにつれ形状は緩やかになり、ピークが目立たなくなる傾向がある。

2.4 日比谷を横断する測線の H/V スペクトル特性

1600年頃に日比谷入江での地形改変が行われたことは、古地図や歴史的記録から判明している。本節では原地形と現在の日比谷での常時微動計測の結果から求めた H/V スペクトルの関係を示し、古地図を手掛か

*1 名古屋大学環境学研究科大学院生

*2 名古屋大学環境学研究科大学院生・工修

*3 名古屋大学大学院環境学研究科 教授・工博

*4 名古屋大学大学院環境学研究科 准教授・博士(工学)

*5 名古屋大学災害対策室 教授・工博

*1 Grad. Student, Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ.

*2 Grad. Student, Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., M. Eng.

*3 Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.

*4 Assoc. Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.

*5 Prof., Disaster Management Office, Nagoya Univ., Dr. Eng.

りに地盤震動特性を類推することの意義を調べる。

図4より、断面図の測線位置と微動計測の測線は若干異なるので、文献⁶⁾のように完全には沖積層厚と卓越周期は一致しない。しかし、銀座周辺の微高地（江戸前島）や隅田川付近では、卓越周期が地質断面図の洪積地の分布と対応している。日比谷周辺で卓越周期が小さい地点は、地点毎に調べると地下鉄の真上や、高層建物付近で計測を行った所が多く、杭基礎などを含む地下構造物の影響と考えられる。日比谷での地形改変の詳細を調べる為、範囲を限定してH/Vスペクトルと計測地点、卓越周期を経度毎に並べ、図5に示す。

日比谷入江のあったとされる場所と、台地上では卓越振動数や形状について差が見られた。具体的には、入り江であった場所⁷⁾では卓越振動数が1Hz付近で高い振幅となり、台地上では3~4Hz付近で裾野の広い形状になっている。また、台地と入り江の境界にあたる地点では、台地上と入江の中間の3Hz付近に卓越振動数を示し、形状も二種類の中間の性状を示している。図5a),b)より、入江のあった場所の推定範囲と、卓越周期の長くなる場所が概ね一致することが確認された。

測線の南での地質断面図と卓越周期の分布を比較すると、広範囲で多くの計測地点を用いて作成した分布と比べ、地質断面図と傾向が類似してい

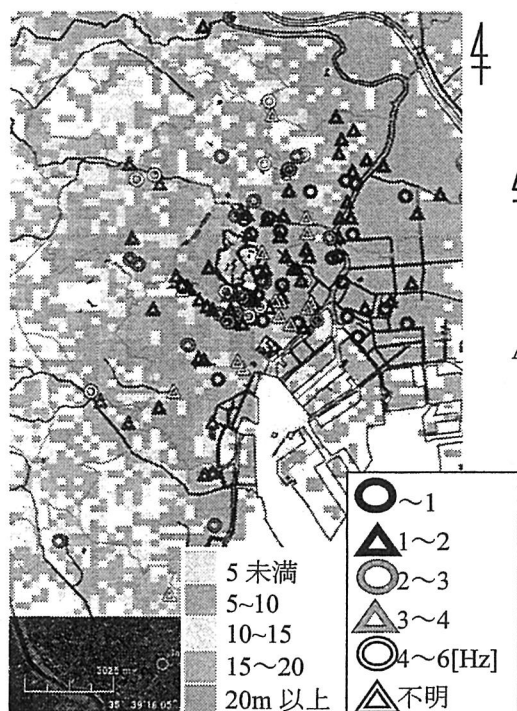


図2 常時微動計測地点と工学的基盤深さ分布重ね図³⁾

ることが確認できた。入江の東の部分については、計測測線の位置が断面図よりも北であり、入江の谷が北北東から南南西にかけて位置しているため、周期の分布にずれが生じていると考えられる。

3. 名古屋での微動計測

3.1 計測対象地域の地盤状況

名古屋市域は、東に東部丘陵（熱田丘陵）、中央部台地地域、西部の沖積平地地域の3種に大別される。また、図6⁸⁾に示すように、第3紀層以浅で、洪積層（矢田川層、八事層、熱田層、大曾根層）と沖積層から成り、東から西へかけて傾斜しており、洪積層と沖積層の厚さの比は東西ではほぼ一定となっている。

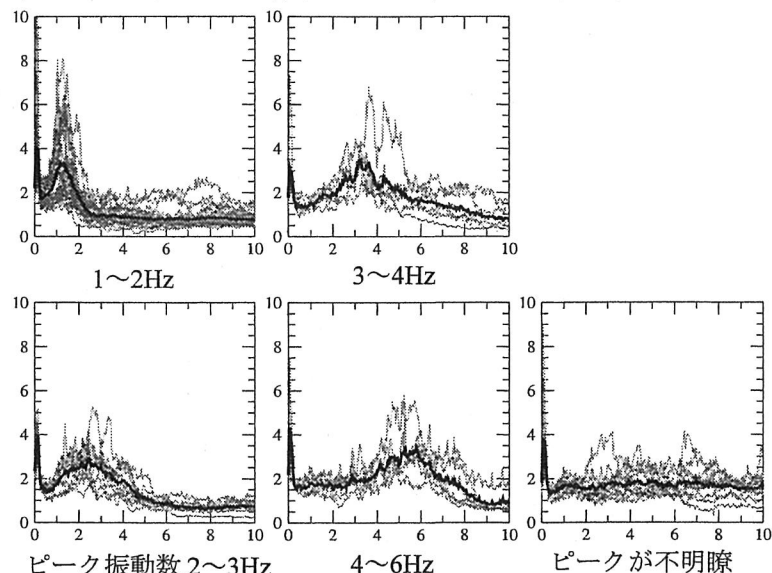
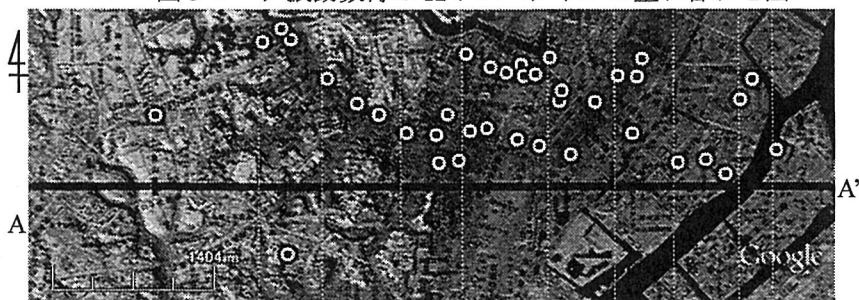


図3 ピーク振動数毎のH/Vスペクトルの重ね合わせ図



a) 標高図⁴⁾と新宿～隅田川間の常時微動計測地点

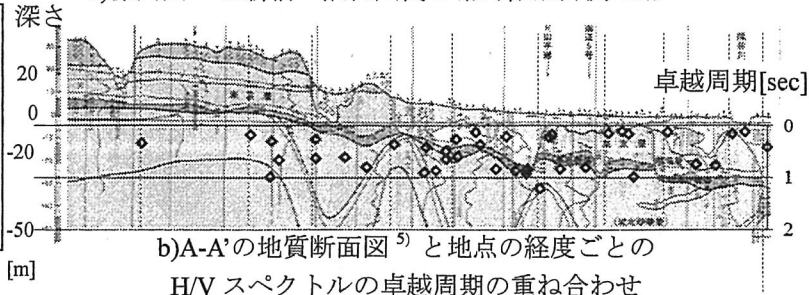


図4 新宿～江東区までの地質断面図とH/V卓越周期との関係図

3.2 名古屋市内の H/V の全体的傾向

1996～1998 年に名古屋市内の小学校全260地点で各23分間計測された記録について、東京と同様の処理を行い、既往の研究⁹⁾と比較を行った所、結果に大きな違いは見られなかった。また、東京での結果と比較を行い、標高や工学的地盤深さなどの地形の類似した地域では、H/V スペクトルの形状や卓越振動数について同じ傾向が見られた。

4. 地震動 H/V スペクトルとの比較

4.1 用いる地震記録と波形処理方法

微動計測地点の近隣で強震記録がある所で、地震と微動の H/V スペクトルを比較する。ここで用いる地震記録は、東京では2011年3月11日14時46分の東日本大震災の本震(M9.0)、名古屋では2001年1月6日11時48分の岐阜県美濃東部の地震(M4.8)とする。この2つの地震は、前者が長周期成分、後者が短周期成分を多く含む点で異なるが、観測地点数の多いものを用いている。

地震動 H/V スペクトルの利用については、多くの検討がなされている(例えば、¹⁰⁾)、本論では、主要動の区間を対象としている。スペクトルを求めるに当たり、因果性を考慮するために、1サンプルの波形長さを327.68秒として後続の0を入れている。微動同様に水平上下スペクトル比を求め、H/V スペクトルを算出した。

4.2 地震動 H/V スペクトルとの関係

東京では、使用できる計測地点¹¹⁾の大部分が、堆積層の厚い場所に設置されている。図7より、名古屋の沖積地では微動 H/V スペクトルの振幅が地震記録と比較して小さい。また、東京でも、微動 H/V スペクトルの振幅は地震記録からの H/V スペクトルの振幅よりも小さくなっていることが図8より分かる。東京、名古屋の沖積地での地震記録と微動より求めた H/V スペクトルの比較により、共に低振動数に鋭いピークがある傾向が示された。

しかし、東京での図8D)地点は他の強震観測点と比較して、高振動数域にもピークがあり、周辺の記録と傾向が異なり、微動 H/V スペクトルの形状とも一致しない。この形状は名古屋でも図7a)の地点の地震動 H/V スペクトルと類似している。地点D)、a)はともに原地

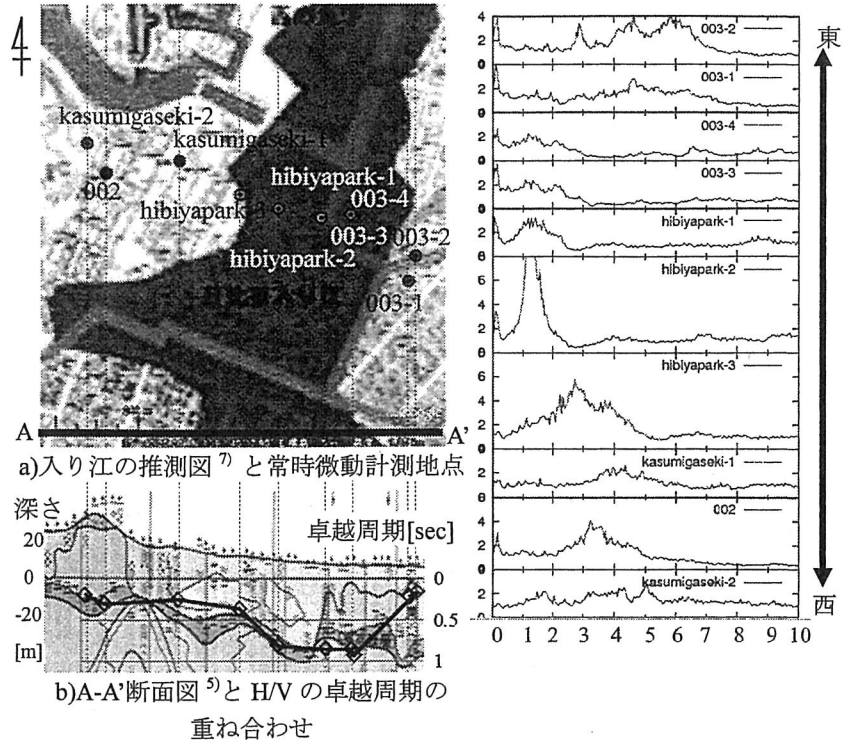


図5 日比谷周辺での計測地点と地点毎の H/V スペクトル

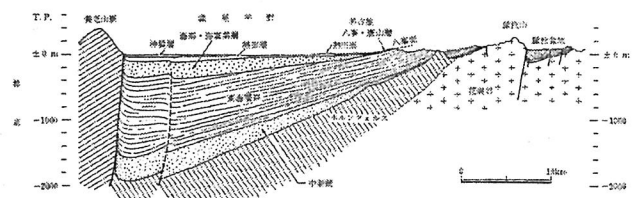


図6 濃尾平野の東西断面模式図⁸⁾

形では島状に陸地が点在する場所であり、地形の成り立ちが類似している場所である。また、図7D)の地域は、関東地震の際にも震度が周辺と比較して小さい傾向があり¹²⁾、江戸時代に貯木場だった地域を埋め立てた場所である。以上のような地盤条件と H/V スペクトルとの関係については今後の検討課題である。

5. まとめ

東京、名古屋において微動記録と地震記録から求めた H/V スペクトルについて比較を行い、以下の傾向が明らかになった。

- 微動 H/V スペクトルの形状について、ピークの振動数が大きくなるほど振幅は小さくなる。
- 微動 H/V スペクトルから求めた卓越周期と地形・地盤条件にはある程度の相関がみられる。
- 今回検証した地点では、微動 H/V スペクトルの卓越周期は地質断面図での洪積地の分布と傾向が類

似している。

- ・ 今回検証した地点では、微動 H/V スペクトルと地震動 H/V スペクトルは、沖積低地において、形状に概ね類似する傾向がある。

今回、東京で用いた地震記録の観測点や記録が限られており、地盤条件との関係の考察が必ずしも十分ではない。今後、検討を加えたい。

参考文献

- 1) 川崎雄貴ほか：名所江戸百景描画地点の地形・景観変化と常時微動観測に基づく地盤震動特性の説明性向上、日本建築学会大会学術講演梗概集 B-2、pp.739-742、2010.9
- 2) 地盤工学会：関東の地盤、pp.79、2010.12
- 3) 全国総合地盤図：http://www.denshi-jiban.jp/
- 4) デジタル標高地形図：国土地理院、2006
- 5) 東京都土木技術研究所編：東京都総合地盤図 I、1977
- 6) 時松孝次ほか：短周期微動の水平鉛直振幅比と地盤特性の関係、日本建築学会構造系論文集、第 457 号、1994.3
- 7) 第二期 TOKYO キャナルプロジェクト：
http://www.tokyo-canal.org/sozai/tc_data_reroute07.jpg
- 8) 土質工学会中部支部編著：最新名古屋地盤図、1988
- 9) 堀啓輔ら：地盤構造推定への H/V スペクトルの適用性に関する研究：その 1 微動と地震動の H/V スペクトルの解釈、学術講演梗概集 B-2、構造 II、1999.247-248
- 10) 佐藤智美ら：微動と S 波、P 波、coda から求められる地盤特性の違いとその理論的解釈、地震学会「地震」、第 2 輯、Vol.51, No.3, 1998, pp.291-318
- 11) 防災科学研究所：強震観測網 K-NET、KiK-net、
http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/
- 12) 武村雅之：1923 年関東地震に対する東京 23 区内 (旧郡部) での詳細震度分布、歴史地震、第 28 号、pp.97-115、2003.12

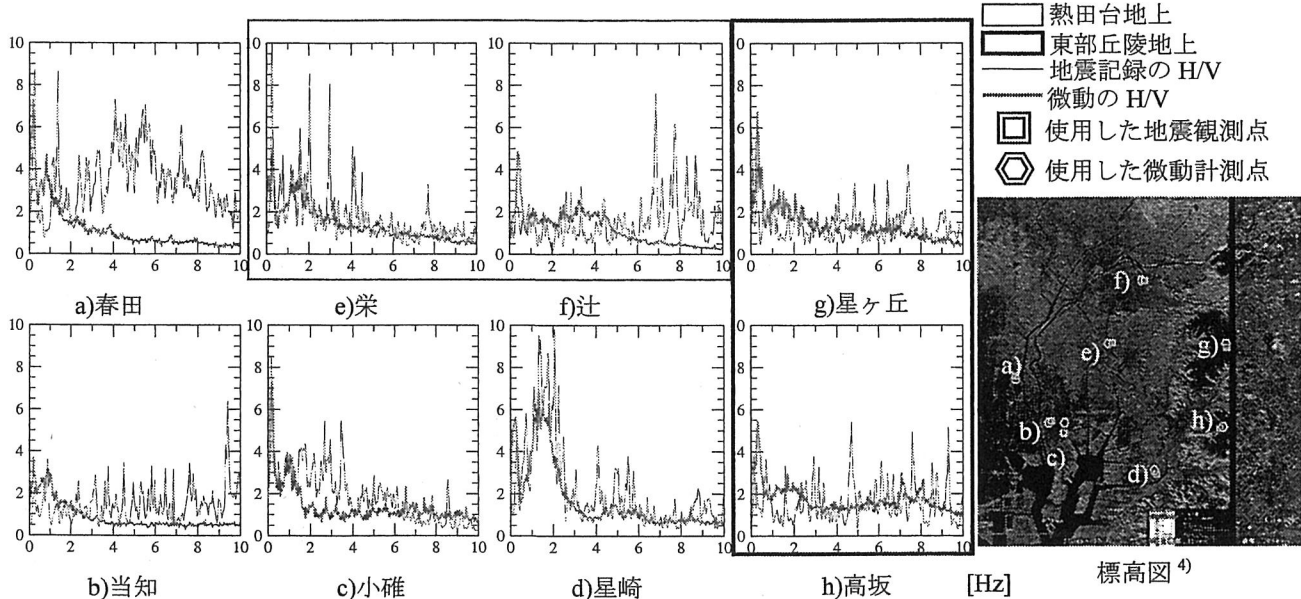


図 7 名古屋での地震記録と微動からの H/V スペクトルの地点毎の重ね合わせ図

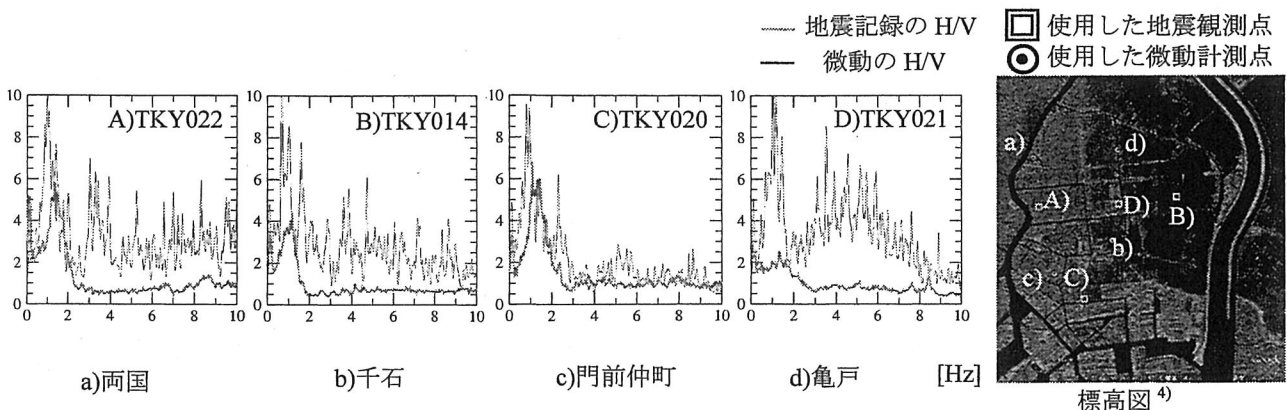


図 8 江東区での K-NET 地震記録と微動からの H/V スペクトルの地点毎の重ね合わせ図