

常時微動 H/V スペクトルを用いたサイト増幅特性の評価に関する試み

A Preliminary Approach on Evaluation of Site Amplification Factors Using Microtremor H/V Spectra

秦 吉弥	Yoshiya HATA	(大阪大学大学院工学研究科)
常田賢一	Ken-ichi TOKIDA	(大阪大学大学院工学研究科)
林 健二	Kenji HAYASHI	((株)フォレストエンジニアリング)

常時微動 H/V スペクトルとサイト増幅特性のスペクトル形状には相似性が認められることから、地震観測が行われていない地点のサイト増幅特性を、常時微動 H/V スペクトルに基づいて推定する方法がこれまで提案されている。しかしながら、既往の提案方法は、常時微動 H/V スペクトルが明確なピーク周波数を有していない場合には適用が困難である。そこで本研究では、神戸市内の強震観測点を対象に、常時微動 H/V スペクトルのピーク周波数の有無に依存しないサイト増幅特性の評価方法を開発するための基礎的な検討を行った。具体的には、常時微動と地震動による観測点間のスペクトル比の類似性に着目した検討を行った。

キーワード：常時微動計測，H/V スペクトル，サイト増幅特性，スペクトル比 (IGC : E08)

1. はじめに

構造物の耐震性能照査のための設計入力地震動の設定にあたっては、震源特性、伝播経路特性、深部地下構造による地震動の増幅特性(以下、サイト増幅特性と呼ぶ)を考慮する必要があると指摘されている¹⁾。これらの特性のうち、サイト増幅特性の評価のためには、スペクトルインバージョン²⁾によることが現実的である。この手法による研究事例^{3),4),5),6)}は数多く、近年では、構造物の耐震性評価などの実務の分野でも用いられ始めている⁷⁾。

一方で、今日、強震観測地点は日本全国に密に展開されているものの、比較的近い地点間でも表層地盤だけでなく、深層地盤の影響により地震動の特性が大きく変わることが指摘されており、地震観測記録のみで設計入力地震動を広範囲にわたり正確に評価するのは困難である。そのため、サイト増幅特性の評価における補助材料として、常時微動の活用が考えられる。常時微動計測によって得られる H/V スペクトルと、地震観測記録によるサイト増幅特性の関係に焦点をあわせた研究は、これまで数多く実施され⁸⁾⁻¹³⁾、常時微動 H/V スペクトルとサイト増幅特性のスペクトル形状に相似性が認められることなどが報告されている。

しかしながら、理論的には常時微動と地震動のローカルサイトエフェクトによる増幅メカニズムは本質的に同一ではない。特に、常時微動の主要波動成分が表面波であると仮定すると、S波による増幅が中心と考えられる地震動の増幅スペクトル(サイト増幅特性)が常時微動 H/V スペクトルとスペクトル振幅において異なるのは自明の理である。よって、地震動の増幅スペクトル(サイト増幅特性)

と常時微動 H/V スペクトルに対してスペクトル振幅まで期待した相関は、元来、無理であるとの論理も成り立つ。ただし、常時微動に多く含まれるとされる Rayleigh 波の H/V スペクトルの振幅は、S波による地盤の地震応答の卓越周期で極大となる性質があり¹⁴⁾、極大値の大きさも地盤構造の S 波インピーダンス比に依存する性質があることから¹⁵⁾、常時微動 H/V スペクトルと地震動の増幅スペクトル(地震基盤～表層地盤のサイト増幅特性^{16),17)}、工学的基盤～表層地盤のサイト増幅特性^{18),19),20)}、基準強震観測地点に対する他地点のサイト増幅特性^{21),22),23)}、鉛直アレー強震観測記録による S 波速度 1000m/s 以上の層に対する地表のサイト増幅特性²⁴⁾などの相関に関する研究がこれまで数多く実施されている。

例えば、長尾ほか^{16),17)}は、地震基盤～地表の多次元効果等を含んだサイト増幅特性を対象に、常時微動 H/V スペクトルとの相関について検討を行うことで、地震観測が行われていない地点のサイト増幅特性を、近傍のサイト増幅特性と常時微動 H/V スペクトルをもとに推定する方法を提案している。しかしながら、この方法は、常時微動 H/V スペクトルが明確なピーク周波数を有していない場合には適用が困難である。

そこで、本研究では、神戸市内の強震観測点を対象に常時微動計測を実施し、ピーク周波数の有無に依存しない常時微動 H/V スペクトルに基づくサイト増幅特性(地震基盤～地表)の評価方法を開発するための基礎的検討を行った。なお、本稿では、構造物の被災に大きな影響を及ぼすやや短周期帯域²⁵⁾を含む 0.2～10Hz の周波数帯域を対象とする。

表-1 夜間微動同時計測の時間帯と計測地点

常時微動計測時間帯						常時微動計測地点名 (強震観測点名)					
年月日・時間 (計測開始)			年月日・時間 (計測終了)			K-NET神戸	JMA中央区	JMA兵庫区	JMA長田区	JMA須磨区	JMA北区
2012	10	1 17:32	~	2012	10	2 07:53	○	○			
2012	10	2 17:40	~	2012	10	3 07:55	○		○		
2012	10	3 17:22	~	2012	10	4 08:01	○			○	
2012	10	4 17:28	~	2012	10	5 07:57	○				○
2012	10	5 17:33	~	2012	10	6 07:58	○				○

2. 検討対象地点

図-1 に、検討対象地点として選定した神戸市内の強震観測点(K-NET 神戸(HYG021), JMA 中央区, JMA 兵庫区, JMA 長田区, JMA 須磨区, JMA 北区)の分布を示す。齋田ら²⁶⁾は、兵庫県内全域の強震観測点(ただし, JMA 兵庫区, JMA 長田区, JMA 須磨区, JMA 北区は含まれていない)において常時微動計測を実施し, 常時微動による H/V スペクトルと中小地震観測記録による H/V スペクトルの比較を行い, 両者の H/V スペクトルの特性(ピーク周波数やスペクトル形状など)が類似していることを報告している。すなわち, 対象地点は, 本研究の目的である常時微動 H/V スペクトルに基づくサイト増幅特性の評価に関する基礎的検討に適した地点であるといえる。なお, JMA 中央区を除く気象庁観測点(JMA 兵庫区, JMA 長田区, JMA 須磨区, JMA 北区)は, 現在観測が終了している。



図-1 K-NET 神戸とその周辺の気象庁観測点の分布

3. 常時微動計測

本検討では, 神戸市内の強震観測地点(図-1 参照)のごく近傍において常時微動計測を実施した。写真-1 に K-NET 神戸での常時微動計測状況を示す。計測期間は, 表-1 に示すように K-NET 神戸を基準とした 2012 年 10 月 1~6 日であり, 計測機器は, 2 計測点ともに白山工業(株)製の一体型微動探査兼地震計機器²⁷⁾を採用した。図-2 および表-2 に計測機器の諸元を示す。計測方向は水平 2 成分と鉛直成分の計 3 成分であり, 後述する常時微動 H/V スペクトルの計算では, 水平 2 成分の平均をとった。計測時間は, 表-1 に示すように, 午後 5 時 30 分頃から翌日午前 8 時頃までの約 14 時間 30 分であり, K-NET 神戸と気象庁観測点(JMA 中央区, JMA 兵庫区, JMA 長田区, JMA 須磨区, JMA 北区)による 2 点間での同時計測を実施した。

図-3 は, K-NET 神戸(基準点)に対する気象庁観測点での常時微動 H/V スペクトルの比較を示す。常時微動 H/V スペクトルの計算処理方法としては, まず, 微動の加速度時刻歴に対して 0.1Hz のハイ・パスフィルターを施し,

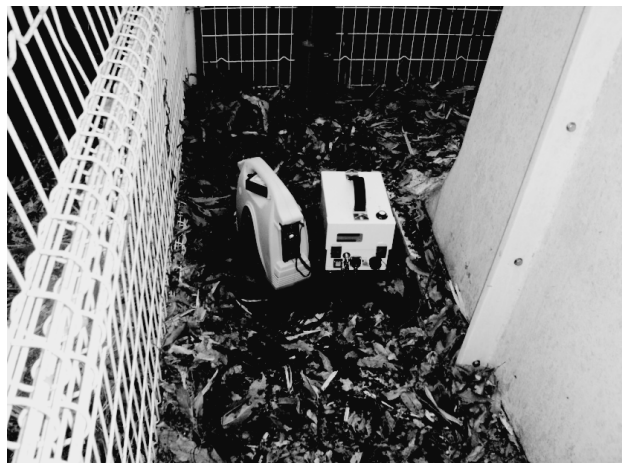


写真-1 K-NET 神戸での常時微動計測状況

163.84 秒の区間(同時刻において, K-NET 神戸(基準点)および気象庁観測点での雑振動(望ましくないノイズ)がともに小さい 163.84 秒間)を 100 区間抽出し, フーリエスペクトルの計算を行い, バンド幅 0.05Hz の Parzen Window で平滑化したのちに, H/V スペクトルを算出し, 100 区間の平均をとった。評価振動数の範囲としては, 使用した微動計測器の性能²⁷⁾などを考慮して 0.2~10Hz とした。

図-3 に示すとおり, 基準点である K-NET 神戸の常時微動 H/V スペクトルは, 明瞭なピーク周波数を有していな

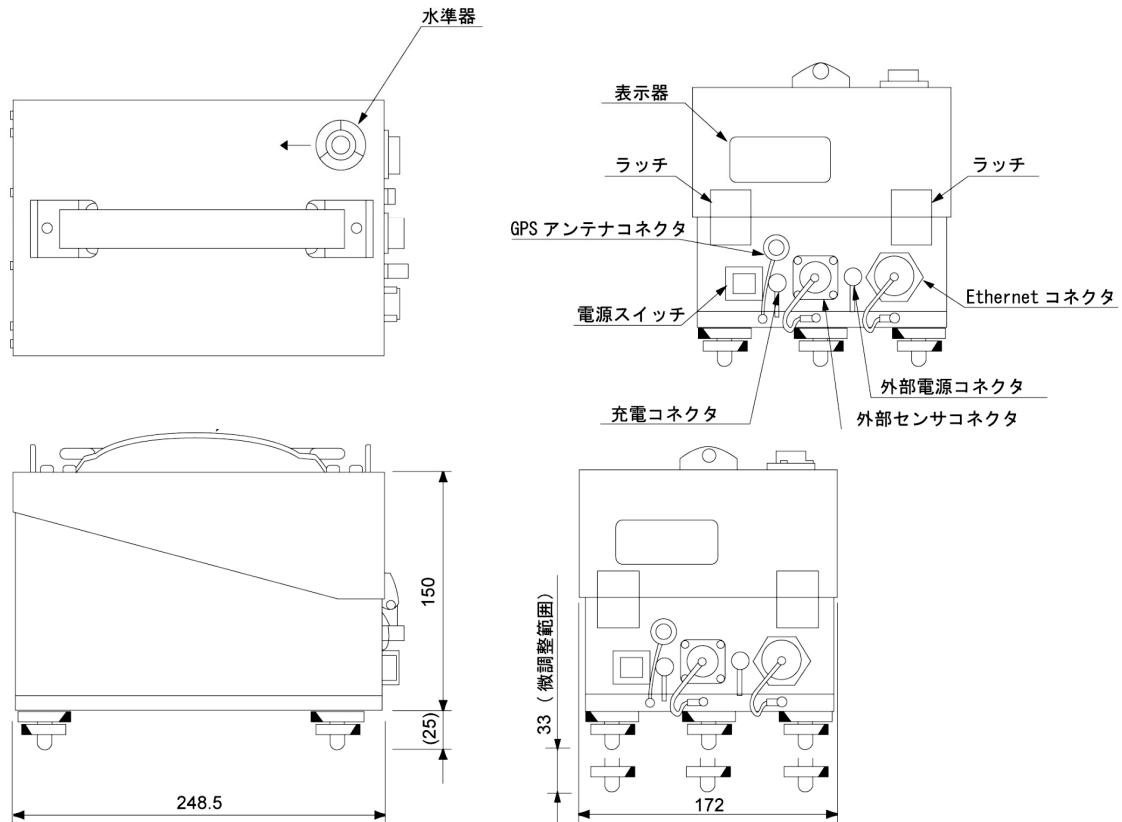


図-2 一体型微動探査兼地震計機器²⁷⁾の諸元

表-2 一体型微動探査兼地震計機器²⁷⁾の諸元

センサ部	型式	JA-40GA04 (日本航空電子工業製)	
	測定成分	上下×1, 水平×2	
	最大計測レンジ	±39.2m/s ² (±4G)	
	電圧感度	0.2039V/(m/s ²)±3% (2.000V/G±3%)	
	零点不平衡	±0.098m/s ² (±10mG)	
	直線性	±0.05%FS	
	自己ノイズ (@1~30Hz)	6.9×10 ⁻⁶ (m/s ²)√Hz (0.7×10 ⁻⁸ G/√Hz)	
プリアンプ部	周波数特性	DC~200Hz (-3dB)	
	感度温度特性	400ppm/℃以下	
	零点温度係数	±981μ(m/s ²)/℃ (±100μG/℃)	
	適用チャンネル	内蔵センサ3ch	
	利得	JU210:5倍(微動計測対応)	
	バッテリー部	種類	リチウムイオン2次電池
		連続利用時間	約10時間
データロガー部	機種(型式)	LS-7000XT	
	チャンネル数	6チャンネル差動入力 ±10V, ±1V	
	入力レンジ	チャンネル毎に切り替え可能 200Hz, 100Hz, 40z, 1Hz	
	サンプリング	3チャンネル毎に設定可能 分解能:24bit (Σ型AD)	
	分解能等	ダイナミックレンジ:135dB Typical 100mA~150mA	
	消費電流	(GPS起動時は+60mA)	
電源	DC12V (2系統同時入力可能)		

い。また、K-NET 神戸(基準点)に対する気象庁観測点での常時微動 H/V スペクトルの特性はまちまちであり、JMA 中央区と JMA 兵庫区では明瞭なピーク周波数を有していないものの、JMA 須磨区と JMA 北区ではピーク周波数が確認できる。さらに、やや短周期帯域²⁵⁾を含む 0.5~3Hz の周波数帯域において、K-NET 神戸(基準点)と JMA 長田区の常時微動 H/V スペクトルの特性が類似している。

4. サイト増幅特性の評価

4.1 中小地震観測記録によるサイト増幅特性の評価

本節では、K-NET 神戸(基準点)と気象庁観測点で同時に観測された地震動によるスペクトル比に基づく、気象庁観測点におけるサイト増幅特性(地震基盤~地表)の評価方法について述べる。具体的には、まず、K-NET 神戸(基準点)と気象庁観測点(JMA 中央区, JMA 兵庫区, JMA 長田区, JMA 須磨区, JMA 北区)で同時に得られた中小地震観測記録(表-3 参照)によるフーリエ振幅スペクトル(水平2成分合成・バンド幅 0.05Hz の Parzen Window で平滑化)の比率(気象庁観測点/K-NET 神戸)を観測地震ごとに計算した。次に、各観測地震に対するスペクトル比の平均(図-4 左側参照)を周波数帯域について計算し、この平均スペクトル比を、スペクトルインバージョンに基づく K-NET 神戸(基準点)における既存のサイト増幅特性(地震基盤~地表: 図-5 参照)⁶⁾に掛け合わせることによって、気象庁観測点(JMA 中央区, JMA 兵庫区, JMA 長田区, JMA 須磨区, JMA 北区)における水平方向のサイト増幅特性(地震基盤~地表: 図-4 右側参照)を評価⁷⁾した。

4.2 微動同時計測によるサイト増幅特性の評価

本節では、K-NET 神戸(基準点)と気象庁観測点の2点

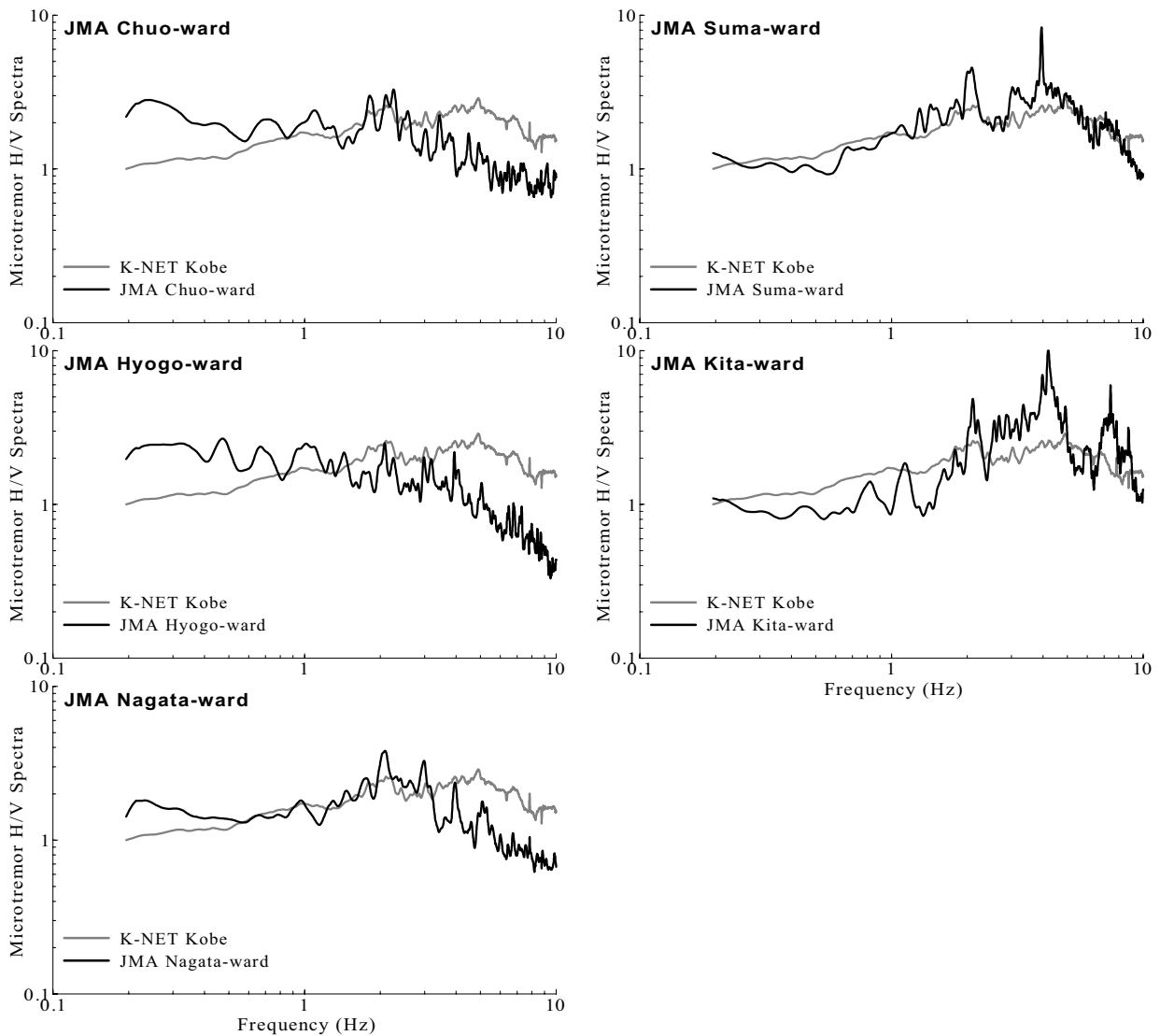


図-3 K-NET 神戸と周辺の気象庁観測点における常時微動 H/V スペクトルの比較

表-3 K-NET 神戸(HYG021)と気象庁観測点(神戸市内)において同時観測された地震イベントの一覧

地震発生年月日・時間	震源域もしくは地震名	気象庁 マグニ チュード	強震観測点名 (○:記録あり, —:記録なし)					
			K-NET神戸	JMA中央区	JMA兵庫区	JMA長田区	JMA須磨区	JMA北区
2000 10 6 13:30	2000年鳥取県西部地震	Mj7.3	○	○	○	○	○	○
2000 10 31 10:31	三重県南部	Mj5.7	○	—	—	○	—	—
2001 8 25 22:21	京都府南部	Mj5.4	○	○	—	○	○	○
2005 2 14 00:22	兵庫県南東部	Mj4.1	○	—	—	○	○	○
2007 3 25 09:43	2007年能登半島地震	Mj6.9	○	○	○	○	○	—
2007 4 15 12:19	三重県中部	Mj5.4	○	○	—	○	○	—
2009 2 18 06:47	岐阜県美濃中西部	Mj5.2	○	○	—	○	—	—

間における常時微動 H/V スペクトルの比率に基づく、気象庁観測点でのサイト増幅特性(地震基盤～地表)の評価方法について述べる。

具体的には、まず、K-NET 神戸(基準点)ならびに気象庁観測点での雑振動(望ましくないノイズ)がともに小さい 163.84 秒間(同時刻)の微動の加速度時刻歴(3. 参照)に対して、常時微動 H/V スペクトルを計算した(この時点で

100 区間の平均を計算しない以外は、3. と同様である)。

次に、同時刻による微動の加速度時刻歴によって得られた K-NET 神戸(基準点)と気象庁観測点(JMA 中央区, JMA 兵庫区, JMA 長田区, JMA 須磨区, JMA 北区)の 2 点間における常時微動 H/V スペクトルの比率(気象庁観測点/K-NET 神戸)を 100 区間ごとに計算した(図-4 左側参照)。

最後に、H/V スペクトルの平均比率(図-4 左側参照)を

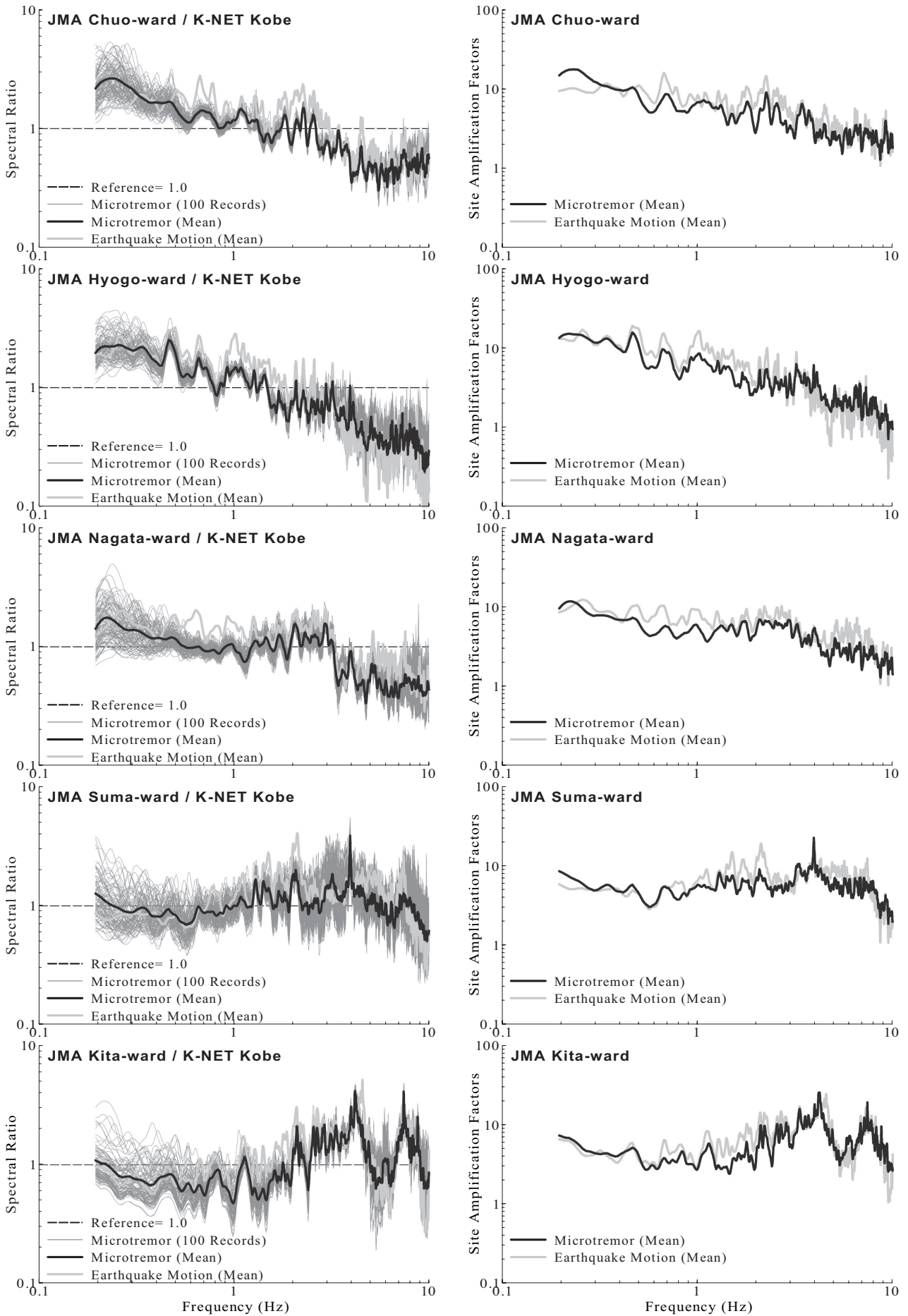


図-4 K-NET神戸を基準とした観測地震動によるフーリエ振幅スペクトル比と常時微動によるH/Vスペクトル比(左図), および気象庁観測点における観測地震動と常時微動H/Vスペクトルに基づくサイト増幅特性の比較(右図)

表-4 サイト増幅特性の DGS 値の一覧

強震観測点名	DGS値
JMA中央区	1.088
JMA兵庫区	1.467
JMA長田区	1.222
JMA須磨区	1.195
JMA北区	1.215

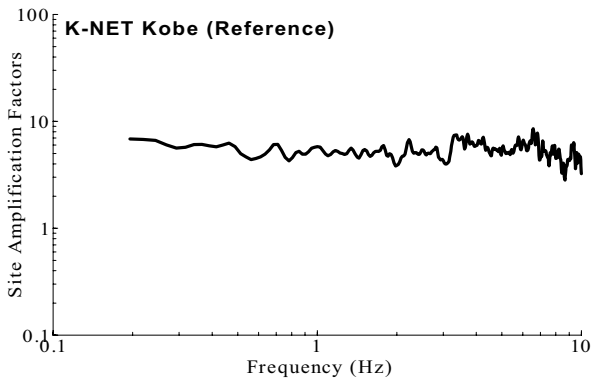


図-5 K-NET 神戸のサイト増幅特性(地震基盤～地表)⁶⁾

周波数帯域について計算し、このスペクトル比の平均を K-NET 神戸(基準点)における既存のサイト増幅特性(地震基盤～地表：図-5 参照)⁶⁾に掛け合わせることによって、気象庁観測点(JMA 中央区, JMA 兵庫区, JMA 長田区, JMA 須磨区, JMA 北区)における水平方向のサイト増幅特性(地震基盤～地表：図-4 右側参照)を評価した。

なお、任意の 2 点間における常時微動 H/V スペクトルの比率に基づいてサイト増幅特性を評価する試み²⁸⁾は、既に行われているものの、2 点間における同時刻の微動波形(微動同時計測波形)に基づいて計算している点、ならびに、比較的長時間にわたり微動計測を行うことで、2 点間の常時微動 H/V スペクトルの平均比率を計算する際に非常に多くの平均区間数を採用(100 区間平均を採用)している点などが既存の方法²⁸⁾と異なる点である。ただし、計測の同時性や平均区間数の増加により、スペクトル比のバラツキ(図-4 左側参照)が小さくなることは確認できているものの、一方で、工学的有用性は低下するため、同時性や区間数をどの程度まで厳密に取り扱う必要があるのかについては、今後の更なる検討を行っていく必要がある。

4.3 評価手法の適用性確認

図-4 右側は、中小地震観測記録に基づくサイト増幅特性の評価結果(4.1 参照)と微動同時計測に基づくサイト増幅特性の評価結果(4.2 参照)を比較したものである。図-4 右側に示すように、サイト増幅特性(地震基盤～地表)に明瞭なピーク周波数が見られない JMA 中央区, JMA 兵庫区, JMA 長田区では、1Hz 付近の周波数帯域において過小評価

する傾向があるが、対象周波数帯域(0.2～10Hz)では中小地震観測記録と微動同時計測に基づくサイト増幅特性が良い一致を示している。一方で、サイト増幅特性(地震基盤～地表)に明瞭なピーク周波数が見られる JMA 須磨区と JMA 北区では、スペクトルが卓越する周波数帯域を含む対象周波数帯域(0.2～10Hz)において中小地震観測記録に基づくサイト増幅特性を比較的良好に再現できている。

中小地震観測記録と微動同時計測に基づくサイト増幅特性(ともに地震基盤～地表)の差異を定量的に評価するために DGS 値¹³⁾を用いた。DGS 値は、地震観測記録に基づくサイト増幅特性($S_{Earthquake}(f)$)と微動計測に基づくサイト増幅特性($S_{Microtremor}(f)$)の比率の常用対数による対象周波数帯域(0.2～10Hz)での積分量であり次式で表わされる。

$$DGS = \sum \left| \log \left(\frac{S_{Microtremor}(f)}{S_{Earthquake}(f)} \right) \right| \cdot \Delta f \quad (1)$$

表-4 は、気象庁観測点(JMA 中央区, JMA 兵庫区, JMA 長田区, JMA 須磨区, JMA 北区)における DGS 値の一覧である。表-4 に示すように、気象庁観測点における DGS 値は、サイト増幅特性のピーク周波数の有無によらず 1.0～1.5 程度の値となっている。この値は、日本国内における強震観測点の周辺 100m の範囲内に潜在するサイト増幅特性の変動帯域(DGS=0.4～2.7 程度)¹³⁾に収まる値である。両値を直接比較することに関しては議論の余地はあるが、本研究における H/V スペクトルに基づくサイト増幅特性の評価方法が一定の精度を有していることが示唆される。

5. まとめ

本研究では、神戸市内の強震観測点を対象に常時微動計測を行い、ピーク周波数の有無に依存しない常時微動 H/V スペクトルに基づくサイト増幅特性の評価方法を開発するための基礎的検討を行った。得られた知見を以下に示す。

- (1) K-NET 神戸(基準点)と気象庁観測点の 2 点間による夜間微動同時計測結果によれば、K-NET 神戸における常時微動 H/V スペクトルは、明瞭なピーク周波数を有しておらず、周辺の気象庁観測点での常時微動 H/V スペクトルとは異なる特性を有している。
- (2) K-NET 神戸(基準点)とその周辺の気象庁観測点で同時に観測された地震動によるスペクトル比に基づいて、気象庁観測点におけるサイト増幅特性を評価した。
- (3) K-NET 神戸(基準点)とその周辺の気象庁観測点で同時刻に計測された常時微動による H/V スペクトルの比率(気象庁観測点/K-NET 神戸)に基づいて、気象庁観測点におけるサイト増幅特性を評価した。

- (4) 上記(2)の地震観測記録に基づくサイト増幅特性と上記(3)の常時微動 H/V スペクトルに基づくサイト増幅特性を比較すると、DGS 値は 1.0~1.5 程度となり、両サイト増幅特性は比較的良い一致を示す。

神戸市内の強震観測点を対象にした場合、本開発手法に基づいてサイト増幅特性を一定の精度で評価できたことから、今後は、他地域における本開発手法の適用性について同様の検討を行っていきたいと考えている。

謝辞

本研究では、(独)防災科学技術研究所 K-NET および気象庁 JMA による地震観測波形データを使用しました。神戸市の住民の皆様には、常時微動計測の実施などにおいて多大なるご支援をいただきました。鈴木亘研究員((独)防災科学技術研究所)には K-NET 神戸での微動計測に関してご支援いただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) たとえば、土木学会地震工学委員会耐震基準小委員会：土木構造物の耐震設計ガイドライン(案)ー耐震基準作成のための手引きー，2001。
- 2) 岩田知孝，入倉孝次郎：観測された地震波から，震源特性・伝播経路特性及び観測点近傍の地盤特性を分離する試み，地震，Vol.39, No.4, pp.579-593, 1986。
- 3) 佐藤智美，巽誉樹：全国の強震記録に基づく内陸地震と海溝性地震の震源・伝播・サイト特性，日本建築学会構造系論文集，No.556, pp.15-24, 2002。
- 4) 川瀬博，松尾秀典：K-NET, KiK-net, JMA 震度計観測網による強震記録から分離したサイト増幅特性と S 波速度構造との対応，日本地震工学会論文集，Vol.4, No.4, pp.126-145, 2004。
- 5) 荘司雄一，神山眞：Small-Titan の観測記録に基づく震源・伝播経路・ローカルサイト特性の推定，土木学会論文集，No.703, I-59, pp.237-253, 2002。
- 6) 野津厚，長尾毅，山田雅行：スペクトルインバージョンに基づく全国の強震観測地点におけるサイト増幅特性とこれを利用した強震動評価事例，日本地震工学会論文集，Vol.7, No.2, pp.215-234, 2007。
- 7) (社)日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説(上巻)，国土交通省港湾局監修，pp.336-341, 2007。
- 8) 中村豊：常時微動計測に基づく表層地盤の地震動特性の推定，鉄道総研報告，Vol.2, No.4, pp.18-27, 1988。
- 9) Bard, P-Y.: Microtremor measurements: A tool for site effect estimation?, *Proc. of the 1st International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion*, Yokohama, Japan, pp.1251-1279, 1998。
- 10) Kudo, K., Sawada, Y. and Horike, M.: Current studies in Japan on H/V and phase velocity dispersion of microtremors for site characterization, *Proc. of 13th WCEE*, Vancouver Canada, Paper No.1144, 1965。
- 11) 時松孝次，宮寺泰生：短周期微動に含まれるレイリー波の特性と地盤構造の関係，日本建築学会構造系論文報告集，No.439, pp.81-87, 1992。
- 12) 秦吉弥，一井康二，野津厚：経験的サイト増幅・位相特性を考慮した八戸市箕子渡における強震動の推

- 定，地盤と建設，地盤工学会，Vol.27, No.1, pp.23-31, 2010。
- 13) 秦吉弥，一井康二，野津厚：近接設置された強震観測点における地盤震動特性の評価，地盤と建設，地盤工学会，Vol.29, No.1, pp.107-114, 2012。
- 14) Haskel, N. A.: The dispersion of surface waves on multilayered media, *Bulletin of the Seismological Society of America (BSSA)*, Vol.43, No.1, pp.17-34, 1953。
- 15) Lermo, J. and Chavez-Garcia, F. J.: Site effect evaluation using spectral ratios with only one station, *Bulletin of the Seismological Society of America (BSSA)*, Vol.83, No.5, pp.1574-1594, 1993。
- 16) 長尾毅，平松和也，平井俊之，野津厚：高松港における被害地震の震度再現に関する研究，海洋開発論文集，土木学会，Vol.22, pp.505-510, 2006。
- 17) 長尾毅，山田雅行，野津厚：常時微動 H/V スペクトルを用いたサイト増幅特性の経験的補正方法に関する研究，構造工学論文集，土木学会，Vol.56A, pp.324-333, 2010。
- 18) 大町達夫，紺野克昭，遠藤達哉，年縄巧：常時微動の水平動と上下動のスペクトル比を用いる地盤周期推定方法の改良と適用，土木学会論文集，No.489, I-27, pp.251-260, 1994。
- 19) 紺野克昭，大町達夫：常時微動の水平/上下スペクトル比を用いる増幅倍率の推定に適した平滑化とその適用例，土木学会論文集，No.525, I-33, pp.247-259, 1995。
- 20) 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，日本地震工学会論文集，Vol.8, No.4, pp.1-15, 2008。
- 21) 佐藤智美，川瀬博，松島信一：微動と S 波，P 波， coda 波から求められる地盤特性の違いとその理論的解釈，地震，第 2 輯，Vol.51, pp.291-318, 1998。
- 22) 神山眞，松川忠司，片岡俊一：アレー強震観測システムを利用したローカルサイト増幅に関する研究，土木学会論文集 A1，Vol.65, No.1, pp.38-51, 2009。
- 23) 若松邦夫，安井謙：短周期微動の水平上下スペクトル比による地盤増幅特性評価の可能性に関する研究，日本建築学会構造系論文集，No.471, pp.60-70, 1995。
- 24) 澤田義博：微動 H/V スペクトル比の特性とこれを用いた地震増幅特性の簡易推定法，物理探査，Vol.61, No.6, pp.511-522, 2008。
- 25) 川瀬博：震源近傍強震動の地下構造による増幅プロセスと構造物破壊能ー1995 年兵庫県南部地震での震災帯の成因に学ぶー，第 10 回日本地震工学シンポジウムパネルディスカッション資料集，pp.29-34, 1998。
- 26) 齋田淳，松岡昌志，Shabestari, K. T., 山崎文雄：兵庫県内の強震観測点における地震記録と常時微動を用いた計測震度分布の推定，土木学会論文集，No.731/I-63, pp.159-168, 2003。
- 27) 先名重樹，安達繁樹，安藤浩，荒木恒彦，藤原広行：微動探査観測システムの開発，地球惑星連合大会 2006 予稿集(CD-ROM)，S111-P002, 2006。
- 28) たとえば，村田晶，堀川翔平，宮島昌克：長野県北部地震における常時微動 H/V スペクトル比を用いた地震動推定と地震破壊力指標評価，第 30 回地震工学研究発表会講演論文集，土木学会，Paper No.265, 2012。

(2013 年 6 月 24 日 受付)