

## 第7章 常時微動H/Vスペクトル比を利用した強震観測点近傍の地震動推定法

### 7.1 まえがき

1995年兵庫県南部地震をきっかけとして、日本全国の市町村に少なくとも1つは地震計(震度計)が設置されるようになり、地震動に関する情報は各段に高密度となった(岡田 2005)<sup>1)</sup>。しかし、既往の研究から明らかなように、約2秒以下の短周期地震動は表層地盤や地形条件に強く影響され、また詳細な表層地盤や地形条件に関する情報が希薄なために、地震計が設置されていない地点の短周期地震動に関する情報は未だ少ない(土木学会 2005)<sup>2)</sup>。このため、構造物の耐震設計や既存構造物の耐震診断、地震被害想定等の地震対策を実施する際には、地点毎に短周期地震動の特性を精度よく推定することが必要とされ、またその推定法は簡便で安価である方が望ましい。

このような地震動推定法の1つとして、常時微動観測記録と近傍の地震動観測記録のみを用いて、地盤情報には頼らない地震動推定法が、丸山ら(2001)<sup>3)</sup>によって提案されている。この論文では、K-NET 宇都宮と東金の2つの地震観測記録から数km離れたJH観測点の地震動を推定し、0.1秒から1秒の短周期地震動の実記録との整合性が確かめられている。大熊ら(2002)<sup>4)</sup>は、宮崎県内の20地点のK-NET観測点と32地点のFDMA(消防庁)観測点の常時微動観測結果と地震動記録から、丸山ら(2001)<sup>3)</sup>の地震動推定法の整合性を数十km離れた2地点間の応答スペクトルによって検討し、手法の有効性を確認するとともに、基準点の選定や上下動の増幅特性に依存して推定精度が変わることを示している。このように、推定精度が基準点の選定や上下動の増幅特性に依存することは、兵庫県内のK-netとKiK-netによる116地点の地震動記録と常時微動観測記録による斎田ら(2003)<sup>5)</sup>の研究でも示されている。

王ら(2007)<sup>6)</sup>や原田ら(2008)<sup>7)</sup>は、これらの既往の研究の適用性や精度および、基準点の選定や鉛直地震動の増幅特性の課題に対して、基準点と推定点の地盤の卓越振動数によって上下動の増幅特性が大きく変わることを明らかにし、この特性を考慮することにより、短周期地震動の推定精度が向上することを示している。

本論文では、原田ら(2008)<sup>7)</sup>の推定式において導入された「上下動の増幅特性を表す係数」と「常時微動と地震動H/Vスペクトル比の違いを表す補正係数」の2つの係数が、地点毎に計測することのできる常時微動H/Vスペクトル比の特性から推定できることを示し、新しい地震動推定式を提案する(中村ら 2009)<sup>8)</sup>。これら2つの係数に地点毎の地盤振動特性を考慮した、本論文で提案する地震動推定式を用いると、これまで以上に短周期地震動(周期0.1秒から2秒)の推定精度が

向上することがわかったので、その内容を記述する。検証で用いたデータは、原田ら（2008）<sup>7)</sup>が用いたものと同じで、福岡県と宮崎県の18地点の強震観測記録と常時微動記録である。

## 7.2 常時微動 H/V スペクトル比を用いた強震観測点近傍の地震動推定法

地震動と常時微動の H/V スペクトル比を完全に一致させるように、次式(7.2-1)のような補正係数  $\beta_O, \beta_E$  を定義する。

$$\beta_O = \frac{1/c_{O\max} \left(\frac{H}{V}\right)_O^M}{\left(\frac{H}{V}\right)_O^E}, \quad \beta_E = \frac{1/c_{E\max} \left(\frac{H}{V}\right)_E^M}{\left(\frac{H}{V}\right)_E^E} \quad (7.2-1)$$

ここで、 $\left(\frac{H}{V}\right)_O^M, \left(\frac{H}{V}\right)_E^M, \left(\frac{H}{V}\right)_O^E, \left(\frac{H}{V}\right)_E^E$  は常時微動と地震動の H/V スペクトル比を表す。またここでは、下添字は地点を示し強震観測点 (Observation site) には [O] (以後、基準点)、地震動の推定点 (Estimation site) には [E] (以後、推定点) を付けて地点を区別するものとする。上添字は常時微動 (Microtremors)、または地震動 (Earthquake Motion) の物理量であることを示す。式(7.2-1)では、常時微動 H/V スペクトル比の振動数特性のみを使用し、振幅特性を使用しないために、常時微動 H/V スペクトル比の振幅の最大値  $c_{O\max}, c_{E\max}$  で基準化して常時微動 H/V スペクトル比を用いている。

式(7.2-1)の補正係数を導入すると、強震観測点と推定点の常時微動 H/V スペクトル比の比は、次式のようになる。

$$\frac{\left(\frac{H}{V}\right)_E^M}{\left(\frac{H}{V}\right)_O^M} = \frac{c_{E\max} \beta_E \left(\frac{H}{V}\right)_E^E}{c_{O\max} \beta_O \left(\frac{H}{V}\right)_O^E} \quad (7.2-2)$$

式(7.2-2)より、推定点の水平地震動フーリエ振幅スペクトル  $H_E^E$  は次式(7.2-3)のように求められる。

$$H_E^E = \frac{\beta_O}{\beta_E} \gamma_{E/O} \frac{1/c_{E\max} \left(\frac{H}{V}\right)_E^M}{1/c_{O\max} \left(\frac{H}{V}\right)_O^M} H_O^E = \alpha \frac{\left(\frac{H}{V}\right)_E^M}{\left(\frac{H}{V}\right)_O^M} H_O^E \quad (7.2-3a)$$

ここに,

$$\alpha = \frac{\beta_O}{\beta_E} \gamma_{E/O} \frac{1/c_{E\max}}{1/c_{O\max}}, \quad \gamma_{E/O} = \frac{V_E^E}{V_O^E} \quad (7.2-3b)$$

式(7.2-3)は強震観測点の水平地震動フーリエ振幅スペクトル  $H_O^E$  から推定点の水平地震動フーリエ振幅スペクトル  $H_E^E$  を推定する式を表す。式(7.2-3)の補正係数  $\alpha$  が 1 の場合には、丸山ら (2001)<sup>3)</sup>の地震動推定式となる。

式(7.2-3)では、補正係数  $\beta_E$  と鉛直地震動スペクトル比  $\gamma_{E/O}$  を除くと、補正係数  $\alpha$  は式(7.2-3b)のように、観測することのできる地震動と常時微動の H/V スペクトル比から求めることができる。しかし、補正係数  $\beta_E$  と鉛直地震動スペクトル比  $\gamma_{E/O}$  は両地点の強震記録と常時微動記録が無ければ求めることができないため、7.4 に示すような推定式を提案する。

## 7.3 強震観測点と観測記録

### 7.3.1 検証に用いた観測点と強震観測記録

本章で提案する常時微動 H/V スペクトル比を用いた地震動推定法の検証のため、K-NET 観測点 (福岡) (図 7.3.1 の●印) と (株) 建設技術研究所福岡 CTI 福岡ビル (以後、建設技研, 図 7.3.1 の◇印) における福岡県西方沖地震 (表 7.3.1 の番号 0) の強震記録および、宮崎県内 8 箇所の K-NET 観測点 (図 7.3.3 の●印) および FDMA 観測点 (図 7.3.3 の◇印) における 1998 年～2005 年に発生したマグニチュード 4.2 以上の 7 地震 (表 7.3.1 の番号 1～7) による強震記録を用いる。検証に用いた地震動の年代、震源位置、震源深さ、地震規模を表 7.3.1 に示す。検証に用いた地震動による検証地点の最大加速度は、宮崎県内で発生したものは 5gal～60gal 程度で小さいが、福岡西方沖地震は最大加速度が 310gal と大きい。図 7.3.1 は K-NET 観測点 (福岡) と建設技研観測点を、図 7.3.2 は福岡西方沖地震の震源位置と K-NET 観測点 (福岡), 図 7.3.3 には宮崎県内の各観測点および震源位置 (★印) を示す。図 7.3.2 の震源位置の番号は表 7.3.1 の番号と対応している。震央距離に比べて K-NET 観測点と FDMA 観測点の 2 地点間の距離が十分に短い 3～6km の強震記録を用いる。

本論文で提案する地震動推定法の検証には、強震観測点と推定点の両地点の強震観測記録が必要となる。表 7.3.2 に各観測点における強震観測記録の有無を示す。各観測点において丸印 (○) の 35 の K-NET 観測点と FDMA (福岡は建設技研) 観測点の強震記録、補正係数のモデル化 (7.4) や地震動推定法の推定精度の検証 (第 8 章) を用いる。



図 7.3.1 K-NET 観測点 (福岡) (●) と建設技研観測点 (◇) の位置

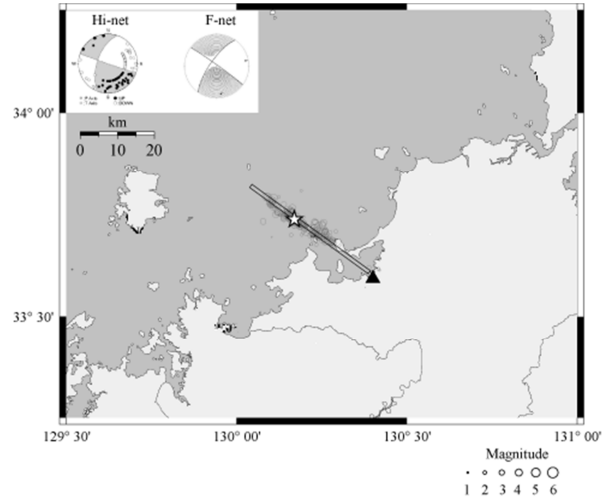


図 7.3.2 K-NET 観測点 (福岡) (▲) と震源位置 (☆) の位置

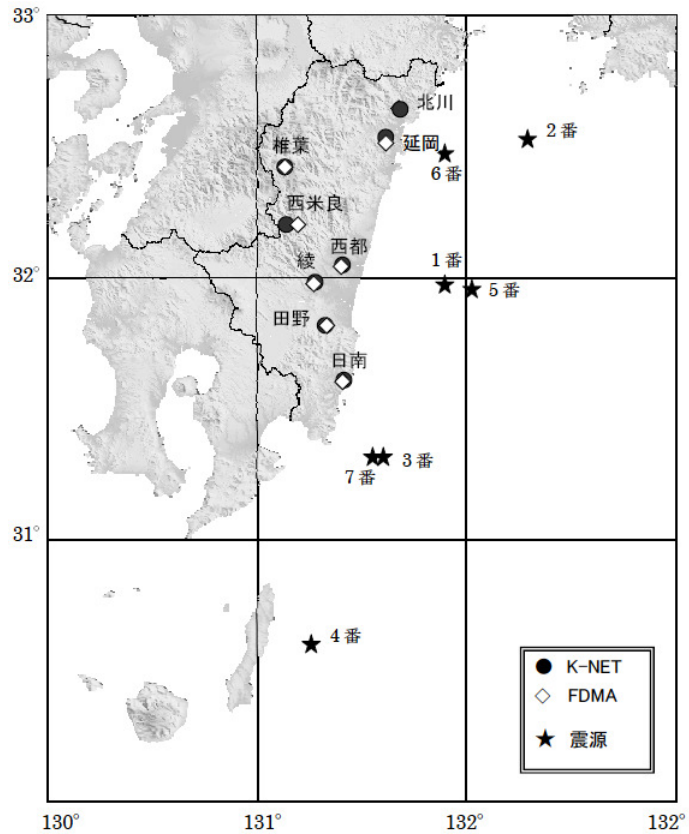


図 7.3.3 検証で用いた宮崎県内の強震観測点と地震の震源位置

表 7.3.1 検証に用いた地震動

番号	地震年代	震源位置		震源深さ (km)	気象庁地震規模 $M_{JMA}$
		緯度(°)	経度(°)		
0	2005.03.20	33.740	130.180	9	7.0
1	1998.09.04	31.896	131.881	32	4.5
2	1998.09.15	32.586	132.265	37	4.2
3	1998.12.16	31.287	131.598	32	5.5
4	1999.01.24	30.587	131.248	49	6.2
5	1999.12.22	31.981	132.000	39	4.8
6	2002.11.04	32.400	131.900	35	5.7
7	2005.05.31	31.305	131.545	29	5.8

表 7.3.2 地震年代と各観測点の有無

地震年代	強震観測点								
	福岡	綾	日南	椎葉	西都	北川	延岡	西米良	田野
2005.03.20	○								
1998.09.04		○	○		○		○		○
1998.09.15					○	○	○		
1998.12.16			○		○				○
1999.01.24		○	○		○			○	○
1999.12.22			○	○	○	○	○	○	○
2002.11.04		○	○	○					○
2005.05.31		○	○	○	○	○		○	○

### 7.3.2 地点毎の常時微動 H/V スペクトル比の特性

福岡県 2 カ所および宮崎県内 16 カ所の各強震観測点の常時微動 H/V スペクトル比のピーク周期  $T$  と, そのときの H/V スペクトル比の最大振幅  $c_{max}$  を表 7.3.2 に示す. 表 7.3.2 のピーク周期  $T$  より, 福岡・綾・日南・椎葉・西都では, K-NET 観測点の地盤の方が硬く, 北川・延岡・西米良・田野では, FDMA 観測点の地盤の方が硬いことがわかる.

表 7.3.2 常時微動 H/V スペクトル比のピーク周期とピーク振幅

観測点	ピーク周期 $T(s)$		ピーク振幅 $C_{max}$	
	K-NET	FDMA (建設技研)	K-NET	FDMA (建設技研)
福岡	<b>0.52</b>	(0.71)	<b>9.08</b>	(5.30)
綾	<b>0.37</b>	0.51	<b>4.07</b>	6.16
日南	<b>0.38</b>	0.53	<b>4.85</b>	4.16
椎葉	<b>0.10</b>	0.25	<b>7.51</b>	9.81
西都	<b>0.14</b>	0.56	<b>6.16</b>	6.14
北川	0.20	<b>0.17</b>	7.41	<b>12.09</b>
延岡	0.34	<b>0.30</b>	4.99	<b>8.40</b>
西米良	0.13	<b>0.10</b>	3.93	<b>5.50</b>
田野	0.33	<b>0.15</b>	6.30	<b>1.39</b>

#### 7.4 補正係数 $\beta_E$ ，鉛直地震動スペクトル比 $\gamma_{E/O}$ のモデル化

式(7.2-3)に示す補正係数 $\beta_E$ と鉛直地震動スペクトル比 $\gamma_{E/O}$ については，両地点の強震記録が必要となる．そこで，ここではそれぞれの特性を示し，それぞれの2つの補正係数に対してモデル化を行う．

##### 7.4.1 補正係数 $\beta_E$ のモデル化

図 7.4.1 と図 7.3.3 に示した福岡および宮崎県内の強震観測点の強震記録より，式(7.2-1)で定義した補正係数 $\beta_O, \beta_E$ を算出すると，図 7.4.1 のようになる．なお，図 7.4.1 の縦軸 $\beta$ は式(7.2-1)の $\beta_O, \beta_E$ の両方を示している．

図 7.4.1 から補正係数 $\beta$ は，最大幅では約 0.02 から 1 の間で大きくばらつく．そこで地点毎に，常時微動 H/V スペクトル比の最大値 $c_{Omax}, c_{Emax}$ で基準化した常時微動 H/V スペクトル比を重みとして，周期 0.1 秒～2 秒間の重み付き平均値を求めた．これらをプロットすると図 7.4.2 のように約 0.2 から 0.5 の間の値であることがわかる．これらの地点毎の補正係数の全体の平均値を計算すると約 0.3 となる．原田ら (2008) <sup>7)</sup>はこの平均値 0.3 を用いたが，図 7.4.2 のように地点毎のばらつき

があるものの、K-NET 観測点と FDMA（福岡は建設技研）観測点の補正係数の間には正の相関があることがわかる。そこで、K-NET 観測点では基本的に地震動記録が観測され公表されることを考慮し、K-NET 観測点の地震動記録と常時微動記録の H/V スペクトル比から補正係数  $\beta$  を求め、その周期 0.1 秒～2 秒間の重み付き平均値を推定点の補正係数  $\beta_E$  とする。

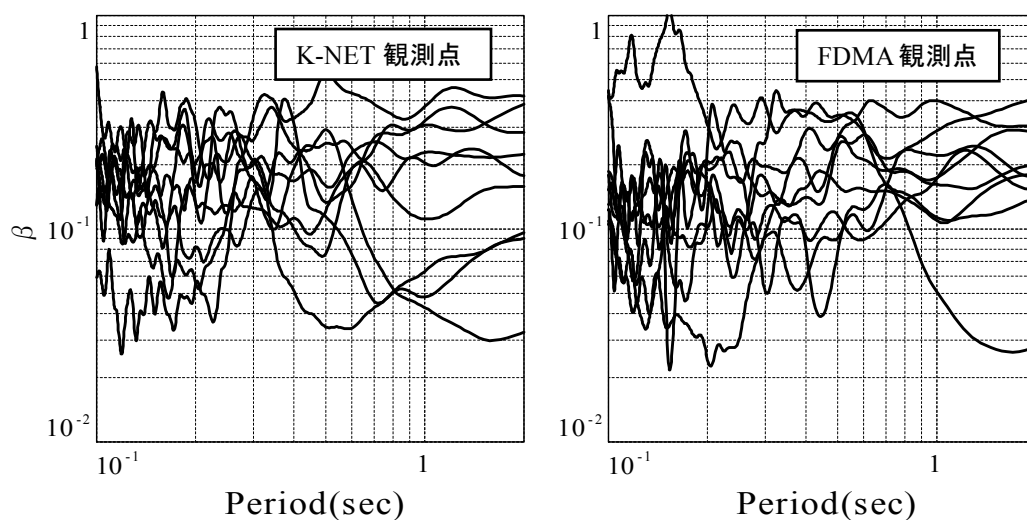


図 7.4.1 福岡と宮崎県内の強震記録より求めた補正係数  $\beta$

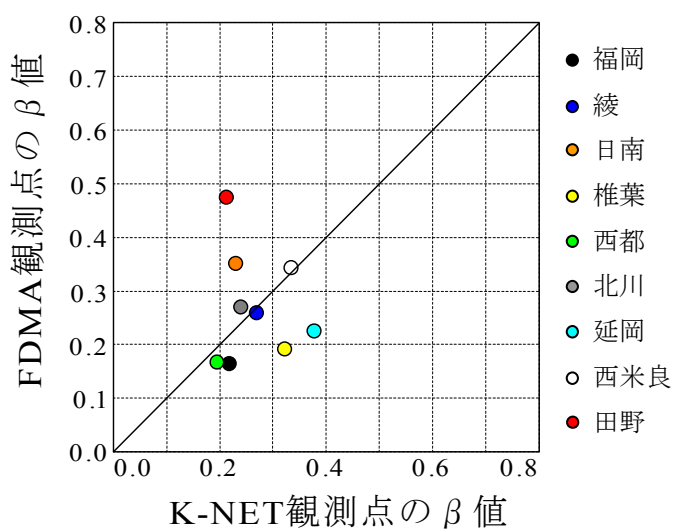


図 7.4.2 K-NET 観測点と FDMA 観測点における補正係数  $\beta$  の重み付き平均値の比較

## 7.4.2 鉛直地震動スペクトル比 $\gamma_{E/O}$ のモデル化

原田ら(2008)<sup>7)</sup>は、強震観測点と推定点の地盤条件の違い(常時微動 H/V スペクトル比のピーク周期より判断)により、鉛直地震動スペクトル比が2種類に分類されることを示した(図 7.4.3)。観測点の地盤が硬い場合の鉛直地震動スペクトル比を $\gamma_{E/O}^I$ 、観測点の地盤が軟らかい場合の鉛直地震動スペクトル比を $\gamma_{E/O}^II$ とする。表 7.3.2 で示した観測点の組み合わせより、福岡、綾、日南、椎葉、西都では、K-NET 観測点の地盤が硬く、北川、延岡、西米良、田野では FDMA 観測点の地盤が硬いので $\gamma_{E/O}^I$ となり、福岡、綾、日南、椎葉、西都では、FDMA(建設技研)観測点の地盤が硬く、北川、延岡、西米良、田野では K-NET 観測点の地盤が硬く、 $\gamma_{E/O}^II$ となり、それぞれの観測点での鉛直地震動スペクトル比 $\gamma_{E/O}^I, \gamma_{E/O}^II$ を得ることができる。

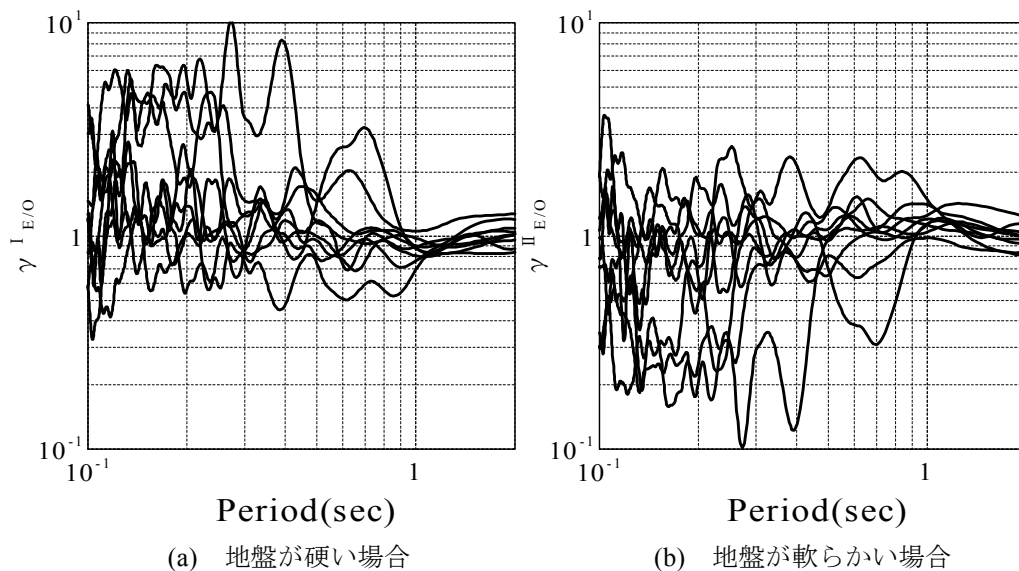


図 7.4.3 各地点の観測記録の鉛直地震動スペクトル比

そして、図 7.4.3 に示された鉛直地震動スペクトル比 $\gamma_{E/O}^I, \gamma_{E/O}^II$ の平均を求め、その周期特性を簡単な関数式で近似し、以下のような鉛直地震動スペクトル比 $\gamma_{E/O}^I$ と $\gamma_{E/O}^II$ のモデル化を行い、 $\gamma_{E/O}$ をモデル化している。

$$\begin{aligned} \gamma_{E/O}^I &= \frac{1 + 4e^{-5T}}{1 + 20e^{-20T}} \\ \gamma_{E/O}^II &= \frac{1}{\gamma_{E/O}^I} \end{aligned} \quad (7.4-1)$$



ここで、 $T$  は周期を意味する。図7.4.4は、図7.4.3で示した観測記録の鉛直地震動スペクトル比の平均と、式(7.4-1)で示したモデルをプロットしている。黒実線は観測記録より得られた鉛直地震動スペクトル比  $\gamma_{E/O}^I$  の平均を、黒点線は  $\gamma_{E/O}^{II}$  の平均を示している。赤実線は式(7.4-1)より求めた  $\gamma_{E/O}^I$  を示し、赤点線は  $\gamma_{E/O}^{II}$  を示している。しかし、このモデル化では、地点毎の鉛直地震動スペクトル比のばらつきを考慮していないという欠点がある。そこで、ここでは地点毎の地盤特性を考慮した新しいモデル化を行うものとする。

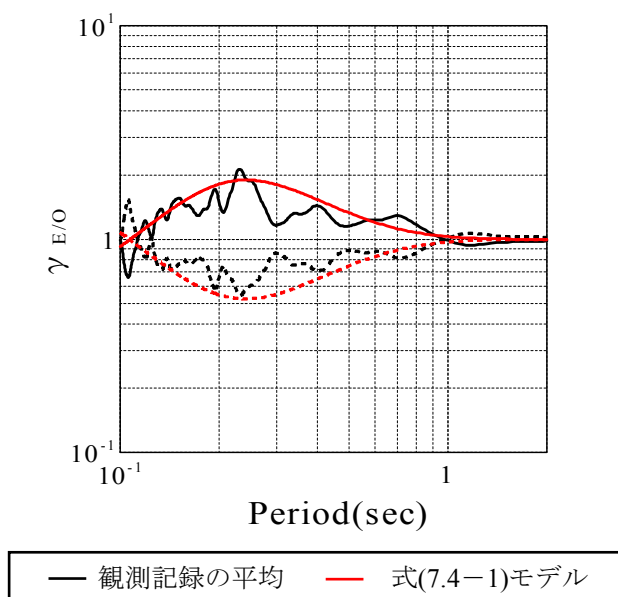


図 7.4.4 鉛直地震動スペクトル比の平均特性と式(7.4-1)の比較

表7.4.1は、各観測点で計測した常時微動H/Vスペクトル比のピーク周期と、鉛直地震動スペクトル比  $\gamma_{E/O}$  のピーク周期を示している。表7.4.1より、鉛直地震動スペクトル比  $\gamma_{E/O}$  のピーク周期は、常時微動H/Vスペクトル比のピーク周期が大きい（地盤が軟らかい）方の値とよく似ていることがわかる。このことより、常時微動H/Vスペクトル比のピーク周期により、鉛直地震動スペクトル比  $\gamma_{E/O}$  の周期特性を考慮することができる。すなわち、地盤が軟らかい方の常時微動H/Vスペクトル比のピーク周期を  $T_g$  として、これにより鉛直地震動スペクトル比  $\gamma_{E/O}$  の周期特性を評価することとする。

次に、図7.4.3に示すように鉛直地震動スペクトル比  $\gamma_{E/O}$  の振幅特性も地点毎にばらつきが大きい。図7.4.5は、鉛直地震動スペクトル比の最大振幅の90%の振幅  $\gamma_{E/O}(90\%)$  と両地点の常時微動H/Vス

ペクトル比の最大振幅比  $c_{\max}$  をプロットしたものである。この図より直線近似式を求めると、式(7.4-2)のようになる。式(7.4-2)を用いて、鉛直地震動スペクトル比  $\gamma_{E/O}$  の振幅特性の評価を行うものとする。

$$\gamma_{E/O}(90\%) = 1.2 \times c_{\max} + 1.6 \quad (7.4-2)$$

以上に示したような、各地点における鉛直地震動スペクトル比  $\gamma_{E/O}$  の周期特性と振幅特性をよく近似できるモデル式として、式(7.4-3)を提案する。

$$\gamma_{E/O}^I = \left( \frac{1 - c'_{\max}}{2} \right) \left[ \frac{e^{\left( \frac{T}{T_g} - 1 \right)} - e^{-\left( \frac{T}{T_g} - 1 \right)}}{e^{\left( \frac{T}{T_g} - 1 \right)} + e^{-\left( \frac{T}{T_g} - 1 \right)}} \right] + \left( \frac{c'_{\max} + 1}{2} \right) \quad (7.4-3a)$$

$$\gamma_{E/O}^{II} = \frac{1}{\gamma_{E/O}^I}$$

ここに、

$$T_g = \text{MAX}(T_O, T_E)$$

$$c'_{\max} = \gamma_{E/O}(90\%) = 1.2 \times c_{\max} + 1.6 \quad (7.4-3b)$$

$$c_{\max} = \text{MAX} \left( \frac{c_{O\max}}{c_{E\max}}, \frac{c_{E\max}}{c_{O\max}} \right)$$

また、 $T_O$ 、 $T_E$  は、常時微動H/Vスペクトル比のピーク周期を表す。

図7.4.6～図7.4.14は、式(7.4-3)で表されるような地点毎の周期特性と振幅特性を考慮して改良した鉛直地震動スペクトル比  $\gamma_{E/O}$  の予測精度を示すため、地震動観測記録から得られた鉛直地震動スペクトル比  $\gamma_{E/O}$  (黒実線)、式(7.4-1)(青実線)および式(7.4-3)(赤実線)による鉛直地震動スペクトル比  $\gamma_{E/O}$  を比較したものである。図7.4.6～図7.4.14より、平均的周期特性によりモデル化した式(7.4-1)(青実線)に比べ、本論文で新たに提案する地点毎の周期特性と振幅特性を考慮した式(7.4-3)(赤実線)の方が、観測記録から得られた鉛直地震動スペクトル比  $\gamma_{E/O}$  (黒実線)の特性をよく表現できていることがわかる。

表 7.4.1 常時微動 H/V スペクトル比のピーク周期と鉛直地震動スペクトル比  $\gamma_{E/O}$  のピーク周期

観測点	常時微動 H/V スペクトル比(sec)		鉛直地震動スペクトル比 (sec)
	K-NET	FDMA (建設技研)	
福岡	0.52	<b>(0.71)</b>	0.70
綾	0.37	<b>0.51</b>	0.50
日南	0.38	<b>0.53</b>	0.42
椎葉	0.10	<b>0.25</b>	0.21
西都	0.14	<b>0.56</b>	0.45
北川	<b>0.20</b>	0.17	0.24
延岡	<b>0.34</b>	0.30	0.27
西米良	<b>0.13</b>	0.10	0.12
田野	<b>0.33</b>	0.15	0.22

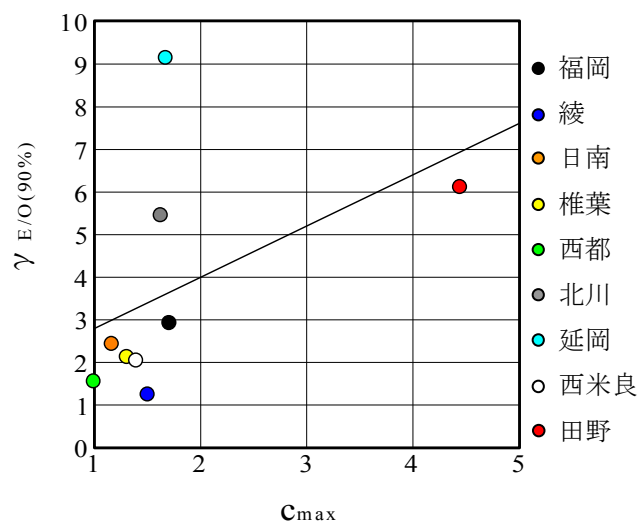


図 7.4.5 鉛直地震動スペクトル比  $\gamma_{E/O}$  の最大振幅の 90% 値  $\gamma_{E/O}(90\%)$  と常時微動 H/V スペクトル比の最大振幅比  $c_{max}$  の比較と近似直線

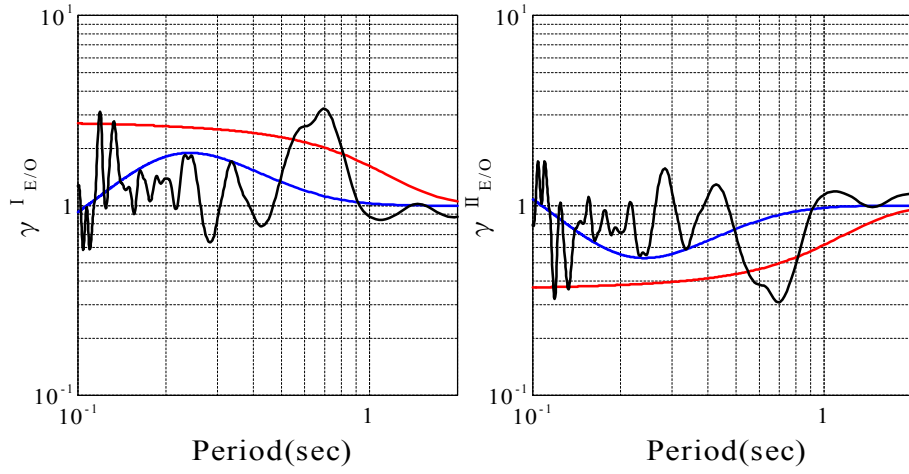


図 7.4.6 鉛直地震動スペクトル比  $\gamma_{E/O}$  のモデル式と観測記録の比較 (福岡)

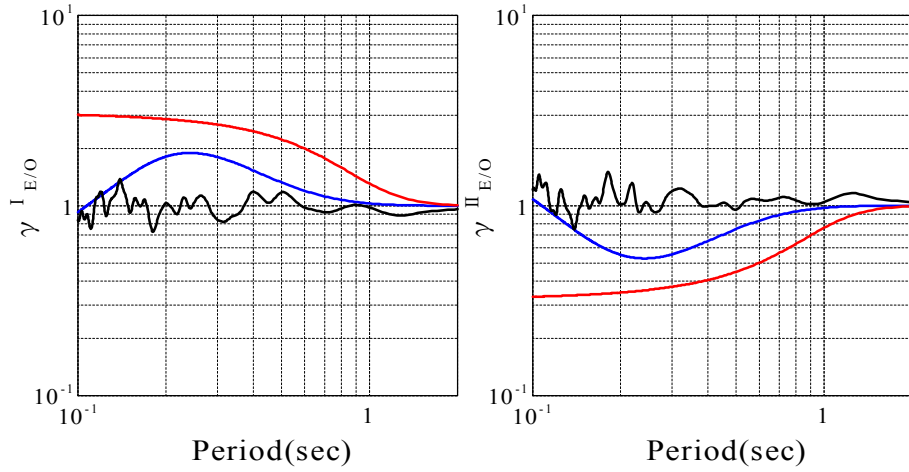


図 7.4.7 鉛直地震動スペクトル比  $\gamma_{E/O}$  のモデル式と観測記録の比較 (綾)

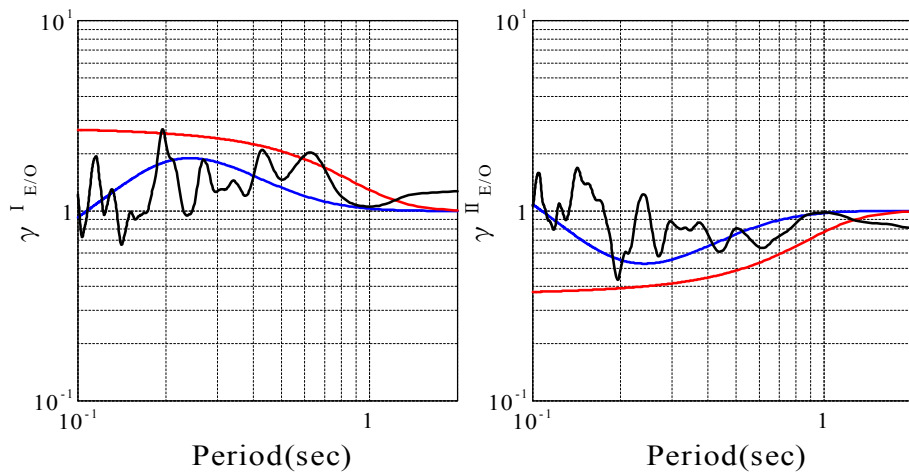


図 7.4.8 鉛直地震動スペクトル比  $\gamma_{E/O}$  のモデル式と観測記録の比較 (日南)

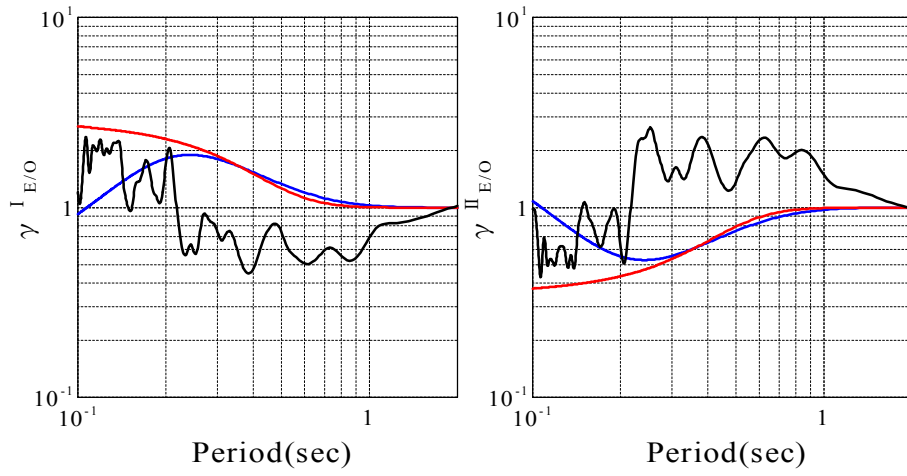


図 7.4.9 鉛直地震動スペクトル比  $\gamma_{E/O}$  のモデル式と観測記録の比較 (椎葉)

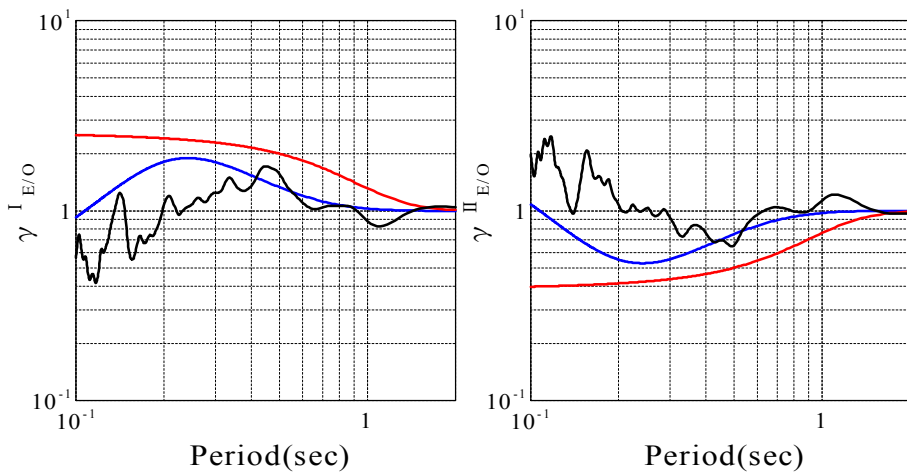


図 7.4.10 鉛直地震動スペクトル比  $\gamma_{E/O}$  のモデル式と観測記録の比較 (西都)

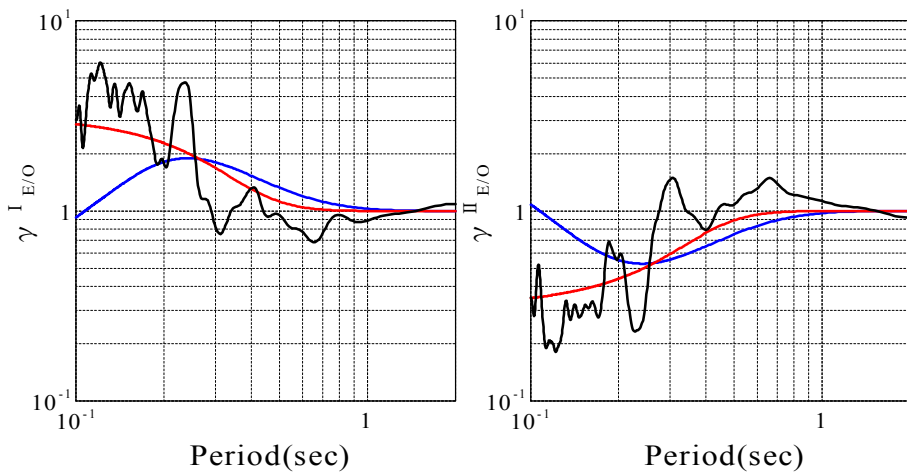


図 7.4.11 鉛直地震動スペクトル比  $\gamma_{E/O}$  のモデル式と観測記録の比較 (北川)

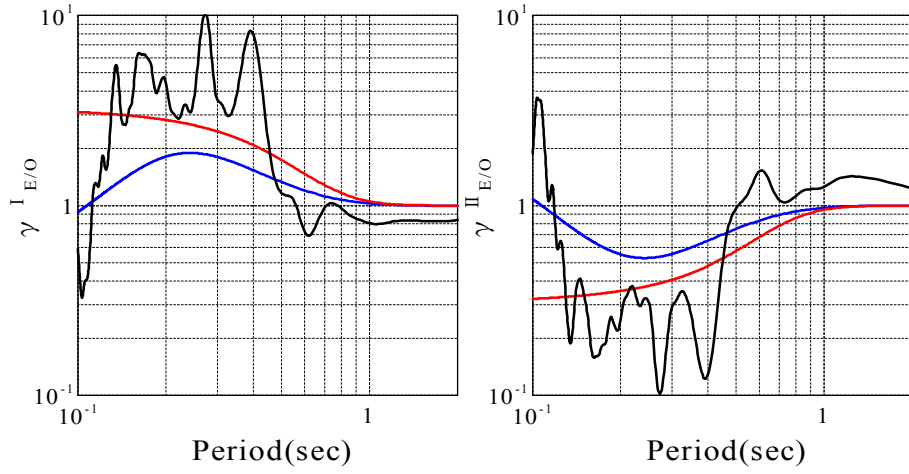


図 7.4.12 鉛直地震動スペクトル比  $\gamma_{E/O}$  のモデル式と観測記録の比較 (延岡)

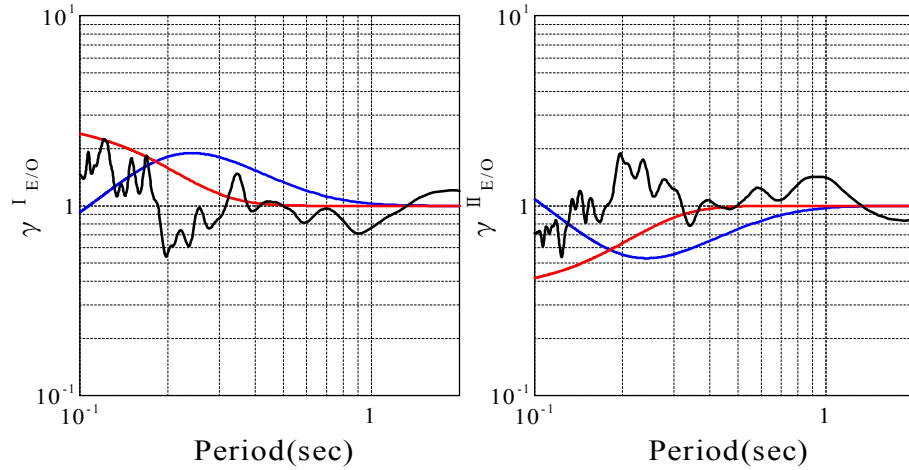


図 7.4.13 鉛直地震動スペクトル比  $\gamma_{E/O}$  のモデル式と観測記録の比較 (西米良)

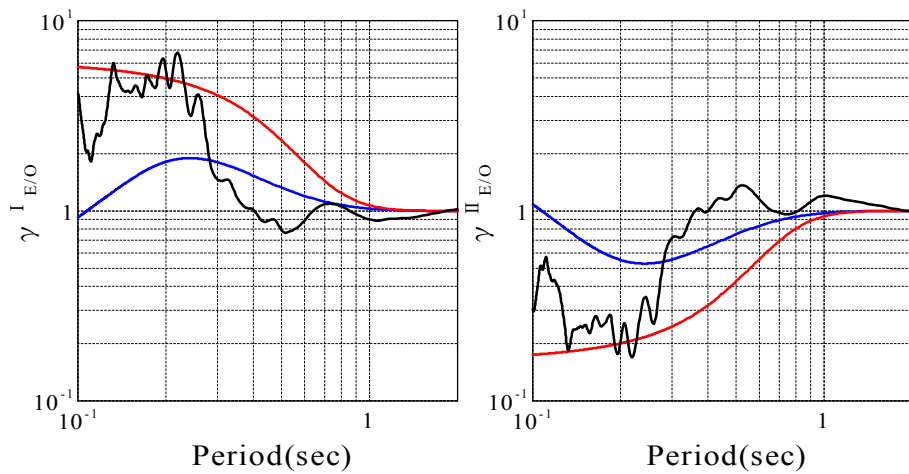


図 7.4.14 鉛直地震動スペクトル比  $\gamma_{E/O}$  のモデル式と観測記録の比較 (田野)

## 7.5 まとめ

本章では常時微動記録と近傍の地震動記録のみを用いて、ボーリングデータ等の地盤情報には頼らない地震動推定法に関する従来の方法を改善する新しい地震動推定法の定式化を提案した。「地震動と常時微動の H/V スペクトル比は完全に等しいものではなくほぼ等しい.そして2地点間距離が近い場合でも地表面鉛直地震動のスペクトル特性は異なる」という観測事実をできるだけ考慮した仮定に基づく新しい定式化において、「上下動の増幅特性を表す鉛直地震動スペクトル比  $\gamma_{E/O}$ 」と「常時微動と地震動 H/V スペクトル比の違いを表す補正係数  $\beta_E$ 」の2つの係数が地点毎に計測することができる常時微動 H/V スペクトル比の特性から推定できることを示し、そのモデル式を提案した。そして、モデル化により求めた鉛直地震動スペクトル比  $\gamma_{E/O}$  と観測記録より得られた鉛直地震動スペクトル比  $\gamma_{E/O}$  との比較により、本論文で提案する鉛直地震動スペクトル比  $\gamma_{E/O}$  のモデル化の妥当性を検証した。

## 参考文献

- 1) 岡田義光:最近におけるわが国の地震観測網の進展について,防災科学技術研究所資料,第276号,pp.3-28, 2005.
- 2) 土木学会:地震動のローカルサイト・エフェクター実例・理論そして応用一,丸善,2005.
- 3) 丸山喜久,山崎文雄,本村均,浜田達也:常時微動のH/Vスペクトル比を用いた地震動推定法の提案,土木学会論文集,土木学会, No.675/I-55, pp.261-272, 2001.
- 4) 大熊裕輝,松岡昌志,山崎文雄,原田隆典:宮崎県における常時微動H/Vスペクトル比を用いた地震動の推定,土木学会論文集,土木学会, No.696/I-58, pp.261-272, 2002.
- 5) 斎田淳,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.
- 6) 王宏沢,原田隆典,斉藤将司:常時微動H/Vスペクトル比による地震動推定法とその検証例,土木学会地震工学論文集,土木学会, pp.123-131, 2007.
- 7) 原田隆典,中村真貴,王宏沢,斉藤将司:強震観測点の記録と常時微動H/Vスペクトル比を利用した近傍の未観測点の強震動推定法,応用力学論文集,土木学会, Vol.11, pp.595-602, 2008.
- 8) 中村真貴,原田隆典,王宏沢,斉藤将司:常時微動H/Vスペクトル比を利用した強震観測点近傍の地震動推定法,地震工学論文集,土木学会, Vol.30, pp.65-74, 2009.