# 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

中村真貴1・原田隆典2・市村彰3・王宏沢4・齊藤将司4

<sup>1</sup>宮崎大学大学院資源環境科学専攻学生 (〒889-2192 宮崎市学園木花台西1-1)
 E-mail: ng1804u@student.miyazaki-u.ac.jp
 <sup>2</sup>宮崎大学土木環境工学科教授 (〒889-2192 宮崎市学園木花台西1-1)
 E-mail:harada@civil.miyazaki-u.ac.jp
 <sup>3</sup>宮崎大学大学院土木環境工学専攻学生 (〒889-2192 宮崎市学園木花台西1-1)
 <sup>4</sup>㈱地震工学研究開発センター研究員 (〒889-2192 宮崎市学園木花台西1-1産学連携センター内)
 E-mail:wang@eerc.co.jp

本論文では、常時微動H/Vスペクトル比と近傍の強震観測点の地震動記録のみを用いて未観測点の地震 動を推定する方法を提案する.本提案式では、「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、地点毎に計測される常時微動H/Vスペクト ル比の特性から推定できる.2地点間距離が3~6kmと短い宮崎県内のK-NET観測点とFDMA(消防庁)観測 点並びに福岡市内の地震動記録と常時微動記録を用いて地震動推定法の推定精度を検証し、これら2つ の係数に地点毎の地盤振動特性を考慮することにより、短周期地震動(周期0.1秒から2秒)の推定精度 が向上することを示した.

Key Words : microtremor, estimation of earthquake ground motion, H/V spectral ratio

## 1. はじめに

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<sup>1)</sup>.しかし,既往の研究から明 らかなように<sup>2)</sup>,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<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 推定法が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<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<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<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.

王ら<sup>5),6)</sup>や原田ら<sup>7)</sup>は、これらの既往の研究<sup>3),4)</sup>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<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、新しい推定式を提案する.これら2つの係数 に地点毎の地盤振動特性を考慮した新推定式を用い 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<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.

#### 2. 強震観測点近傍の地震動推定法

本論文の提案式は、原田ら7)の提案式と基本的 に同じであるが,提案式の特徴と本論文で提案する 各係数のモデル化の考え方を説明するために、ここ で整理する.本定式化と丸山ら<sup>3)</sup>の地震動推定法 の違いは、丸山ら3)の定式化では「地震動と常時 微動のH/Vスペクトル比は等しく,かつ2地点の地 表面鉛直地震動のスペクトル特性は等しい」という ように2地点間の地震動や常時微動H/Vスペクトル 特性を単純にモデル化しているが、原田ら7)の定 式化では「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」というように観測事実をできる だけ考慮した仮定に基づいた新しい定式化となって いる点である.具体的な定式化は、以下のようにな る.本論文では、簡単のため、地震動と常時微動の フーリエスペクトル振幅を*H*,V で表すものとする.

(1) 常時微動 H/V スペクトル比による地震動推定法 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、次式のような補正係数を定義する.

$$\boldsymbol{\beta}_{O} = \frac{\frac{1}{c_{O\max}} \left( \frac{H}{V} \right)_{O}^{M}}{\left( \frac{H}{V} \right)_{O}^{E}} \quad , \boldsymbol{\beta}_{E} = \frac{\frac{1}{c_{E\max}} \left( \frac{H}{V} \right)_{E}^{M}}{\left( \frac{H}{V} \right)_{E}^{E}} \quad (1)$$

ここで、  $(H_{V})_{o}^{M}, (H_{V})_{E}^{M}, (H_{V})_{o}^{E}, (H_{V})_{E}^{E}$ は常時微動と地震動の H/V スペクトル比を表す.また本論文では、下添字は地点を示し強震観測点 (Observation site)には[0],推定点 (Estimation site)には[E]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(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  $c_{omax}, c_{Emax}$ 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(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.

$$\frac{\left(\frac{H}{V}\right)_{E}^{M}}{\left(\frac{H}{V}\right)_{O}^{M}} = \frac{c_{E\max}\beta_{E}\left(\frac{H}{V}\right)_{E}^{E}}{c_{O\max}\beta_{O}\left(\frac{H}{V}\right)_{O}^{E}}$$
(2)

式(2)より,推定点の水平地震動スペクトル振幅  $H_{E}^{E}$ は次式のように求められる.

$$H_{E}^{E} = \frac{\beta_{o}}{\beta_{E}} \gamma_{E/o} \frac{\frac{1}{c_{E_{\max}}} \left(\frac{H}{V}\right)_{E}^{M}}{\frac{1}{c_{o\max}} \left(\frac{H}{V}\right)_{o}^{M}} H_{o}^{E}$$

$$= \alpha \frac{\left(\frac{H}{V}\right)_{E}^{M}}{\left(\frac{H}{V}\right)_{o}^{M}} H_{o}^{E}$$
(3a)

ここに,

$$\alpha = \frac{\beta_o}{\beta_E} \gamma_{E/O} \frac{\frac{1}{C_{E \max}}}{\frac{1}{C_{O \max}}} , \ \gamma_{E/O} = \frac{V_E^E}{V_O^E}$$
(3b)

式 (3) は強震観測点の水平地震動スペクトル振幅  $H_o^E$ から推定点の水平地震動スペクトル振幅 $H_E^E$ を 推定する式を表す.式(3)の右辺の補正係数 $\alpha$ が1 の場合には、丸山ら<sup>3)</sup>の地震動推定式となる.

式(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(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、4章に示すような推定式を提案する.

#### (2) 地震動推定法における各係数の特性の例

ここでは、2005年3月福岡県西方沖地震において 観測された強震記録<sup>8)</sup>を用いて、式(3)で示した地 震動推定式における各係数の特性を観ておくことと する.図-1は、K-NET観測点(FK0006)(地図上では● 印)と(株)建設技術研究所福岡CTI福岡ビル(以後、 建設技研)の強震観測点(地図上では★印)の位置関 係を示す<sup>8)</sup>.両観測点は直線距離で約1km離れ、沖 積地盤の厚さが異なり地盤の卓越周期が違う地盤条 件を持つ<sup>7),9)</sup>.



図-1 K-NET 観測点 (FK0006) (●) と (株) 建設技術研究所 福岡 CTI 福岡ビルの観測点 (★)の位置

この地盤条件が違う両観測点の常時微動H/Vスペクトル比は、図-2(d)に示すようになる.このピーク振動数(以後,振動数の代わりに周期を用いる)から地盤の卓越周期を求めると、K-NET観測点(FK0006)の0.52秒に対して沖積地盤の厚い建設技研観測点では、0.71秒と長い地盤の卓越周期となっている.すなわち、両観測点の地盤の振動特性は異なり、K-NET観測点(FK0006)の方が振動論的には硬い地盤と判定することができる.なお、本論文のフーリエスペクトル振幅は、0.4HzのParzen Windowによる平滑化を行って求めている.

図-2(a)~(c)は、それぞれK-NET観測点(FK0006) を観測点[0]とし、建設技研観測点を推定点[E]と見 なして両地点の地震動(NS方向)と常時微動の観測記 録と、これらの記録から求められる式(1)と式(3)に 示した補正係数 $\beta_o$ 、 $\beta_E$ 、鉛直地震動スペクトル比  $\gamma_{E/o}$ をプロットしたものである. 黒線はK-NET観測 点(FK0006)のデータであることを、青線は建設技研 観測点のデータであることを表している.



図-2 K-NET観測点および建設技研観測点における地震動と常時微動の観測記録のスペクトル振幅と各補正係数

図-2(a)の黒線で示すK-NET観測点の地震動フーリ エスペクトル振幅に,式(3)に従って図-2(b),(c), (d)の補正係数をかけることにより,建設技研の地 震動フーリエスペクトル振幅を推定することができ る.このようにして推定した建設技研の地震動フー リエスペクトル振幅を示すと,図-3のようになり, 図-2(a)の青線で示した建設技研観測点の地震動フ ーリエスペクトル振幅と同じになり,完全な推定が できていることがわかる.



図-3 式(3)より算出した建設技研の水平地震動スペク トル振幅 H<sup>E</sup>

ただし実際には、推定点の常時微動は観測できて も地震動は観測できないため、式(3)または、図-2(b)、(c)に示す補正係数  $\beta_E \ge \gamma_{E/o}$ の2つの係数に ついては予測する方法を開発しておかなければなら ない、すなわち、この2つの補正係数の予測精度が 推定点の地震動フーリエスペクトル振幅の推定精度 に影響する推定法であるといえる、以下では、地震 動記録と常時微動記録を用いてこの2つの補正係数 のモデル化を行い、地震動フーリエスペクトル振幅 の推定精度を調べた結果を記述する.

### 3. 強震観測点と観測記録

#### (1) 検証に用いた観測点と強震観測記録

本論文では、2章で示した福岡県西方沖地震の強 震記録と、図-4に示す宮崎県内8箇所のK-NET観測点 (●印)およびFDMA観測点(◇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-1)による強震記録を用い、地震動推定式(式 (3))の精度を調べる、図-4には、7地震の番号と震 央位置も示している、図-4より、2地点の記録は、 震央距離に比べて2地点間距離が十分に短い3~6km の強震記録を用いていることがわかる。

表-1 検証に用いた地震

番	地震年代	震源	位置	震源深さ (km)	地震 規模			
号		緯度(゜)	経度(°)					
	2005.03.20	33.740	130.180	9	M7.0			
1	1998.09.04	31.896	131.881	32	M4.5			
2	1998.09.15	32.586	132.265	37	M4.2			
3	1998.12.16	31.287	131.598	32	M5.5			
4	1999.01.24	30.587	131.248	49	M6.2			
5	1999.12.22	31.981	132.000	39	M4.8			
6	2002.11.04	32.400	131.900	35	M5.7			
7	2005.05.31	31.305	131.545	29	M5.8			



図-4 検証で用いた宮崎県内の強震観測点と地震の震央

#### (2) 地点毎の常時微動H/Vスペクトル比の特性

原田ら<sup>7)</sup>の用いた福岡および宮崎県内の各強震 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**-2に示す.**表**-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-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

	ピーク周期 T (s)		ピーク振幅 Cmax	
観測点	K-NET	FDMA (建設技研)	K-NET	FDMA (建設技研)
福岡	0.52	(0.71)	9.08	(5.30)
綾	0.37	0.51	4.07	6.16
日南	0.38	0.53	4.85	4.16
椎葉	0.10	0.25	7.51	9.81
西都	0.14	0.56	6.16	6.14
北川	0.20	0.17	7.41	12.09
延岡	0.34	0.30	4.99	8.40
西米良	0.13	0.10	3.93	5.50
田野	0.31	0.15	6.14	1.39

# 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(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、その モデル化を行う.

### (1) 補正係数 β<sub>F</sub> のモデル化

図-1と図-4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(1)で定義した補正係数 $\beta_E$ を算出すると、図-5のようになる.



図-5 福岡と宮崎県内の強震記録より求めた補正係数 $\beta$ 

図-5から補正係数 $\beta_{E}$ は、最大幅では約0.02から1 の間で大きくばらつくが、地点毎に周期0.1秒~2秒 間の平均値を求め、これらをプロットすると図-6の ように約0.1から0.7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<sup>7)</sup>はこの平均値0.3を用 いたが、図-6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、次に示すよ うに地点毎の特性を考慮した補正係数の推定を行う こととする.すなわち、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を求め、その周期0.1秒~2秒間 の平均値を推定点の補正係数 $\beta_{E}$ とする.



図-6 K-NET観測点とFDMA観測点における補正係数 β の
 平均値の比較

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

原田ら<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).



 (a) 地盤が硬い場合
 (b) 地盤が軟らかい場合
 図-7 福岡と宮崎県内の強震記録から得られた鉛直地震 動スペクトル比γ<sub>E/O</sub>

そして、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 $\gamma_{E/o}^{II}$ として、その平 均的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<sup>7)</sup>.

$$\gamma_{E/O}^{I} = \frac{1 + 4e^{-5T}}{1 + 20e^{-20T}}, \gamma_{E/O}^{II} = \frac{1}{\gamma_{E/O}^{I}}$$
(4)

ここで, *T* は周期(s)を意味する.しかし,このモ デル化では,図-7に示すような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.

**表**-3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**-3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方(地盤が軟らかいほう)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スペクトル比のピーク周期が大きい方(地盤が軟らかいほう)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とする(式(6b)).

次に、図-7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-8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. **表-3** 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<sub>γ<sub>E/0</sub></sub>のピーク周期

	常時微動 H∕	鉛直地震動ス	
観測点	K-NET	FDMA (建設	ペクトル比
		技研)	(sec)
福岡	0.52	(0.71)	0.70
綾	0.37	0.51	0.50
日南	0.38	0.53	0.42
椎葉	0.10	0.25	0.21
西都	0.14	0.56	0.45
北川	0.20	0.17	0.24
延岡	0.34	0.30	0.27
西米良	0.13	0.10	0.12
田野	0.31	0.15	0.22

この図より直線近似式を求めると,式(5)のよう になる.式(5)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.



 図-8 鉛直地震動スペクトル比<sub>γ<sub>E/0</sub></sub>の最大振幅の90%値 <sub>γ<sub>E/0</sub>(90%)</sub>と常時微動H/Vスペクトル比の最大振幅 比 c<sub>max</sub>の比較と近似直線

以上に示したような地点毎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考慮して 式(4)を改良し、鉛直地震動スペクトル比 $\gamma_{E/o}$ の予 測式として式(6)を提案する.

$$\gamma_{E/O}^{I} = \left(\frac{1-c'_{\max}}{2}\right) \left[\frac{e^{\left[\frac{T}{T_{g}}-1\right]} - e^{-\left[\frac{T}{T_{g}}-1\right]}}{e^{\left[\frac{T}{T_{g}}-1\right]} + e^{-\left[\frac{T}{T_{g}}-1\right]}}\right] + \left(\frac{c'_{\max}+1}{2}\right)$$
$$\gamma_{E/O}^{II} = \frac{1}{\gamma_{E/O}^{I}}$$
(6a)

ここに,

$$T_{g} = MAX(T_{O}, T_{E})$$

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

$$c_{\max} = MAX \left( \frac{c_{O\max}}{c_{E\max}}, \frac{c_{E\max}}{c_{O\max}} \right)$$
(6b)

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し, $c_{omax}$ , $c_{Emax}$ は,常時微動H/Vスペクトル比の振幅の最大値を表す.

図-9は、式(6)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の一例として、 北川の観測点で得られた地震動観測記録から求めた鉛直地震動スペクトル比 $\gamma_{E/o}$ (灰線)と式(4)(黒線)並びに式(6)(赤線)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-9より、平均的周期特性によりモデル化した式 (4)の予測式に比べ、本論文で地点毎の特性を考慮 して改良した式(6)の予測式の方が強震記録から得 られた鉛直地震動スペクトル比<sub>γE/o</sub>の特性をよく 表現できていることがわかる.

# 5. 常時微動と地震動観測記録による地震動推 定法の検証例

ここでは、式(3)による地震動推定式( $\alpha = 1$ を用 いる丸山ら<sup>3)</sup>の推定法(丸山推定法①と呼ぶ)、平均 的補正係数 $\beta_E = 0.3 \ge \gamma_{E/o}$ の予測式として式(4)を 用いる原田ら<sup>7)</sup>の推定法(旧推定法②と呼ぶ)、お よび**4章**の(1) と(2)で提案したように地点毎の地盤 特性を考慮した補正係数 $\beta_E \ge \gamma_{E/o}$ の予測式として 式(6)を用いる推定法(新推定法③と呼ぶ))の3つの 推定法の推定精度を実地震動との比較から調べた結 果を示す.(1)ではフーリエスペクトル振幅での比 較を、(2)には加速度波形での比較を示す.ここで は、K-NET観測点の強震記録より、式(3)よりFDMA観 測点の地震動を推定した結果を示す.

#### (1) 地震動のスペクトル振幅の比較

図-10は、2005年福岡県西方沖地震(M7.0)による K-NET観測点(FK0006)の水平加速度記録(NS成分)の フーリエスペクトル振幅(黒線)と、それを用いて推 定した建設技研観測点の地震動のフーリエスペクト ル振幅(丸山推定法①:緑線、旧推定法②:青線、新 推定法③:赤線)、並びに観測された建設技研観測点 の強震記録のスペクトル振幅(灰線)を示す.この図 の比較から,丸山推定法①と旧推定法②と比べると, 本論文で提案した新推定法③によるスペクトル振幅 は,観測波形のものに近いものとなっており,推定 精度が向上していることがわかる.



図-10 K-NET観測点(FK0006)・建設技研観測点の地震動 スペクトルとK-NET観測点の記録から推定した地 震動スペクトル(3つの推定法)の比較(NS成分)



図-11 K-NET 観測点(北川)・FDMA 観測点(北川)の地震動 スペクトルと K-NET 観測点の記録から推定した 地震動スペクトル(3つの手法)の比較(NS 成分)



図-12 K-NET 観測点(田野)・FDMA 観測点(田野)の地震動
 スペクトルと K-NET 観測点の記録から推定した地
 震動スペクトル(3つの手法)の比較(NS 成分)



図-13 K-NET 観測点(日南)・FDMA 観測点(日南)の地震動
 スペクトルと K-NET 観測点の記録から推定した地
 震動スペクトル(3つの手法)の比較(NS 成分)

同じように、図-11~図-13 は、北川、田野、日 南における 2005 年 5 月 31 日の地震による K-NET 観 測点(黒線)の水平加速度記録(NS 成)のフーリエス ペクトル振幅(黒線)と、それを用いて推定した FDMA 観測点のフーリエスペクトル振幅(緑線,青線, 赤線)と,FDMA 観測点の強震記録のフーリエスペク トル振幅(灰線)を比較したものである.これら北川, 田野,日南の観測点でも,丸山推定法①と旧推定法 ②と比べると,本論文で提案した新推定法③による スペクトル振幅は,観測波形のものに近いものとな っており,推定精度が向上していることがわかる.

図-14 は、表-2 または表-3 に示した 9 地点(1 地点名の中に K-NET と FDMA 観測点の 2 つの観測点 があるので合計 18 観測点となる. 福岡の場合は K-NET 観測点と建設技研観測点となる)の観測記録を 用いて 3 つの推定法の推定精度を比較した結果を示 す.推定誤差は、次式のように観測点と推定点の観 測地震動水平加速度フーリエスペクトル振幅の周期 0.1 秒から 2 秒間の各周期毎の誤差の 2 乗和平方根 によって評価した 2 地点間の地震動の違いの程度を 表す誤差 $S_{E/O}$ と、推定した地震動水平加速度フー リエスペクトル振幅と観測記録の誤差の 2 乗和平方 根によって評価した $S_{E/E}$ の 2 つの評価指標を使う.

$$S_{E/I} = \sqrt{\frac{\sum_{i}^{n} (H_{E}^{E}(T_{i}) - \tilde{H}_{I}^{E}(T_{i}))^{2}}{\sum_{i}^{n} \tilde{H}_{I}^{E}(T_{i})^{2}}}, \quad (I = O, E) \quad (7)$$

ここに,  $H_{I}^{E}(T_{i})$  でI = Eの時,  $H_{E}^{E}(T_{i}) \geq \tilde{H}_{E}^{E}(T_{i})$ はそれぞれ周期  $T_{i}$ における推定した地震動と観測 された地震動の水平加速度スペクトル振幅を表す.  $\tilde{H}_{O}^{E}(T_{i}), (I = O, H_{E}^{E}(T_{i})) = \tilde{H}_{E}^{E}(T_{i}))$ は観測点の観測 地震動の水平加速度スペクトル振幅を表す.



(b) FDMA から K-NET を推定した場合の2 乗和誤差

**図-14** 2 乗和誤差

図-14から、9地点のうち綾、日南の2地点を除く7地点では、新推定法③の誤差(赤)は、観測点と推定点の2地点間の誤差(黒)よりも小さく、良い推定をしていることがわかる. 綾、日南の2地点での推定誤差は良いとは言えないものの、図-13と図-18 に示す日南でのフーリエスペクトル振幅と地震動波形から判断すると推定としては許容できる程度であると考えられる.

#### (2) 地震動の加速度波形の比較

式(3a)の推定式は、フーリエスペクトル振幅に対して導かれたものであるが、推定点の加速度波形を求める場合には、観測点の水平地震動記録から求められる複素フーリエスペクトル(実数部と虚数部)を式(3a)の $H_o^E$ に代入して推定点の複素フーリエスペクトル $H_E^E$ を求めるものとする.したがって、推定点の推定地震動波形の振動数特性は地盤条件を反映したものに修正されているが、位相特性に関しては観測点のものと同じであると仮定した推定波形となる.なお、ここでの地震動波形は、0.1 秒以下の周期をカットした 0.1 秒から 2 秒までの周期帯の波形での比較を示す.



図-15 2005年福岡県西方沖地震によるK-NET観測点 (FK0006)と建設技研観測点の加速度波形と推定 した建設技研観測点の加速度波形(NS成分)

図-15は、K-NET観測点(FK0006)と建設技研観測 点の加速度波形と、3つの推定法により推定した建 設技研観測点の加速度波形(NS成分)の比較を示す. この場合、基準点のK-NET福岡(FK0006)の最大加速 度が240ga1に対し、推定点の建設技研観測点の最大 加速度420ga1と大きくなっている.このような観測 波形の特徴とは逆に、丸山推定法①と旧推定法②に よる波形の最大加速度は基準点の波形よりも小さく、 新推定法③では280gal と推定点の加速度波形が大きくなっており、記録の特徴が表現できている.

図-16~図-18に示す宮崎県の北川,田野,日南の場合においても,丸山推定法①と旧推定法②に比べ,新推定法③による波形の振幅特性は観測波形に近いものとなっていることがわかる.



新推定法③

 図-16 2005年日向灘地震によるK-NET観測点(北川)と
 FDMA観測点(北川)の加速度波形と推定したFDMA 観測点(北川)の加速度波形(NS成分)



 図-17 2005年日向灘地震によるK-NET観測点(田野)と
 FDMA観測点(田野)の加速度波形と推定したFDMA 観測点(田野)の加速度波形(NS成分)



 図-18 2005年日向灘地震によるK-NET観測点(日南)と
 FDMA観測点(日南)の加速度波形と推定したFDMA 観測点(日南)の加速度波形(NS成分)

#### 6. まとめ

本論文では、常時微動記録と近傍の地震動記録の みを用いて、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ことを目的に、「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、その推定式を提案した.そして、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を用いて、これら2つの係数の推定式を用いて地点毎の地盤振動特性を考慮することにより、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を示した.

#### 参考文献

- 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・エフェクー実 例・理論そして応用-, 丸善, 2005.
- 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, No. 675/I-55, pp. 261-272, 2001.
- 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, No. 696/I-58, pp. 261-272, 2002.
- 5) 王宏沢,原田隆典,斉藤将司: K-net 観測点の記録 を利用した近傍の未観測点の強震動推定法,第12回 日本地震工学シンポジューム論文集, Vol. 12, CD-ROM, pp. 434-437, 2006.
- E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,CD-ROM,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, Vol. 11, pp. 595-602, 2008.
- 2005年福岡県西方沖地震被害調 査報告書,2005.
- 9) (社)九州地質業協会,福岡地盤図作成グループ:福岡地質図 基盤岩表面等等高線図,帝国地図,1981.

# A METHOD OF ESTIMATING EARTHQUAKE GROUND MOTION USING MIROTREMOR H/V SPECTRAL RATIO

# Masaki NAKAMURA, Takanori HARADA, Akira ICHIMURA, Hongze WANG, and Shouji SAITOH

A method of estimating earthquake ground motion using microtremor horizontal to vertical (H/V) Fourier spectral ratio is presented. In this method, an earthquake ground motion is estimated from the earthquake ground motion recorded in the nearby observation site by using the correction factors which consist of the microtremor H/V spectral ratio of the both sites (the reference site and estimation site), the correction factor of the difference between the microtremor H/V spectral ratio and the earthquake ground motion H/V spectral ratio  $\beta$ , and the site factor of vertical ground motions  $\gamma$ . By using the observed microtremor records and earthquake ground motions in the Miyazaki and Fukuoka Prefectures, the presented estimation method is examined. And also the error of estimation of Fourier spectral amplitude of earthquake horizontal ground motion is discussed.