

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

原田 隆典¹・王 宏沢²・斉藤 将司³

¹宮崎大学教授 工学部土木環境工学科 (〒889-2192 宮崎市学園木花台西1-1)

E-mail:harada@civil.miyazaki-u.ac.jp

²(株)地震工学研究開発センター (〒889-2192 宮崎市学園木花台西1-1, 宮崎大学産学連携センター)

E-mail:wang@eerc.co.jp

³宮崎大学大学院学生, 工学研究科システム工学専攻 (〒889-2192 宮崎市学園木花台西1-1)

E-mail:saitoh@civil.miyazaki-u.ac.jp

本論文では、常時微動H/Vスペクトル比と近傍の地震動観測記録のみを用いて地震動を推定する方法の定式化を示し、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)観測点の地震動記録と常時微動観測記録を用いて地震動推定法の推定精度を検証した。その結果、宮崎県内の8観測点のうち、延岡、北川の2つの観測点を除くと、周期0.06秒から2秒の範囲での推定地震動スペクトル振幅は、実地震動スペクトル振幅の0.4~4倍の範囲であることを示した。地盤の卓越周期近傍では、誤差は約半分になり0.5~2倍の範囲であることを示した。推定精度の悪い2つの観測点においては、地震動の上下動成分の違いの影響が大きいことを示した。

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¹⁾。しかし、既往の研究から明らかなように²⁾、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²⁾。

色々な地盤条件の地点に極めて高密度に地震計を設置し、これらの観測記録と地盤条件(地盤条件の定義も必要)、並びに震源・伝播特性との関係が蓄積されることが理想であるが、現実と理想の落差は未だ大きい。このため、構造物の耐震設計や既存構造物の耐震診断、地震被害想定などの工学問題では、短周期地震動の特性を地点毎に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、常時微動観測結果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³⁾によって提案されている。この論文では、K-NET⁴⁾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⁵⁾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³⁾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して変わることは、兵庫県内のK-NETとKiK-net⁶⁾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⁷⁾の研究でも示されている。

本論文では、常時微動H/Vスペクトル比と近傍の地震動観測記録のみを用いて地震動を推定する既往の方法^{3), 5), 7)}の適用性、並びに推定精度と基準点の選定や2地点間での地震動の上下動成分の増幅特性の違いに関して、定量的な検討を行うために、地震動推定手法の定式化からの検討を行う。これらの定量的検討においては、1998年から2005年の7年間において2地点間距離が3~6kmと短い宮崎県内のK-NET(防災科学技術研究所)観測点とFDMA(消防庁)観測点で観測された地震動記録と常

時微動観測記録を用いるものとする。

2. 常時微動のH/Vスペクトル比を用いた地震動の推定法

ここでは、常時微動観測結果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の定式化を整理しておく。

まず、近傍にある2つの観測点をA, Bと仮定する。A, B観測点における地震動の水平成分と上下成分のフーリエスペクトル振幅 $H_A^E(\omega), H_B^E(\omega)$ と $V_A^E(\omega), V_B^E(\omega)$ は、次式のように震源のスペクトル特性 S と震源から観測点までの地震波伝播のスペクトル特性 P と観測点近傍のローカルサイトに関するスペクトル特性 L の積として与えることができる^{例えば、6)}。

$$\begin{aligned} H_n^E(\omega) &= S^E(\omega) P_{Hn}^E(\omega, r) L_{Hn}^E(\omega) \\ V_n^E(\omega) &= S^E(\omega) P_{Vn}^E(\omega, r) L_{Vn}^E(\omega) \end{aligned} \quad (1)$$

ここに、 $n = A, B$ で観測点を意味する。また、震源のスペクトル特性動 S は、運動学的断層モデルにおける震源時間関数と地震モーメントの積として与えられるので、水平成分と上下成分の区別なく同じものとして与えられる。そして、震源スペクトル特性 S と震源から観測点までの地震波伝播のスペクトル特性 P と観測点近傍のローカルサイトに関するスペクトル特性 L のカッコ内の特性値は、振動数 ω と震源から観測点までの距離 r の関数であることを示す。また、下添字 H と V はそれぞれの観測点における水平成分と上下成分を表し、上添字 E は地震による物理量であることを表す。

ここで、A と B 観測点の地震動 H/V スペクトル比を計算すると、次式のように震源の影響が除かれる。

$$\frac{H_n^E(\omega)}{V_n^E(\omega)} = \frac{P_{Hn}^E(\omega, r) L_{Hn}^E(\omega)}{P_{Vn}^E(\omega, r) L_{Vn}^E(\omega)} \quad (2)$$

同じように、A と B 観測点における常時微動の水平と上下成分のフーリエスペクトル振幅は、次式のように与えられる。

$$\begin{aligned} H_n^M(\omega) &= S_n^M(\omega) P_{Hn}^M(\omega) L_{Hn}^M(\omega) \\ V_n^M(\omega) &= S_n^M(\omega) P_{Vn}^M(\omega) L_{Vn}^M(\omega) \end{aligned} \quad (3)$$

ここに、上添字 M は、常時微動による物理量であることを示す。常時微動の場合、複数の震動源からの影響の和として観測点の常時微動特性が決まるものであると解釈しておかなければならない。

また、地震動の場合と同様に A と B 観測点の常時微動 H/V スペクトル比を計算すると、次式のように震動源の影響が除かれる。

$$\frac{H_n^M(\omega)}{V_n^M(\omega)} = \frac{P_{Hn}^M(\omega) L_{Hn}^M(\omega)}{P_{Vn}^M(\omega) L_{Vn}^M(\omega)} \quad (4)$$

ここで、既往の研究^{3), 5), 7)} や3章で示すようにある観測点における色々な地震による地震動のH/Vスペクトル比と常時微動のH/Vスペクトル比の形状はよく一致しており、特にH/Vスペクトル比のピーク値を与える振動数(ピーク振動数:地盤の卓越振動数と呼ばれる)の一致度は高いことを考慮すると、地震動と常時微動に関する式(2)と式(4)のローカルサイト特性における水平と上下成分比はほぼ等しいものと仮定することができよう(全ての振動数範囲で等しいということではなくピーク振動数付近という意味)。したがって、式(2)と式(4)のA, B観測点のH/Vスペクトル比の比を取って比較すると、地震動のH/Vスペクトル比と常時微動のH/Vスペクトル比には、次式のような関係のあることがわかる。

$$\frac{\left(\frac{H_A^E(\omega)}{V_A^E(\omega)}\right)}{\left(\frac{H_B^E(\omega)}{V_B^E(\omega)}\right)} = \frac{\left(\frac{\beta_{PA}^E}{\beta_{PA}^M}\right) \left(\frac{H_A^M(\omega)}{V_A^M(\omega)}\right)}{\left(\frac{\beta_{PB}^E}{\beta_{PB}^M}\right) \left(\frac{H_B^M(\omega)}{V_B^M(\omega)}\right)} \quad (5a)$$

ここに、

$$\beta_{Pn}^E = \frac{P_{Hn}^E(\omega, r)}{P_{Vn}^E(\omega, r)}, \quad \beta_{Pn}^M = \frac{P_{Hn}^M(\omega)}{P_{Vn}^M(\omega)} \quad (5b)$$

式(5a)は、地盤の卓越振動数付近において、地震動のH/Vスペクトル比は常時微動のH/Vスペクトル比に地震動と常時微動の伝播特性の違いを表す係数比 $\beta_{Pn}^E / \beta_{Pn}^M$ 倍したものに等しいことを表している(3章の(3)節で検討する)。

ここで、式(5)に地震動の上下成分スペクトルを掛けると、A, B観測点の地震動水平成分のスペクトルが次式のように表される。

$$\frac{H_A^E(\omega)}{H_B^E(\omega)} = \beta \gamma \frac{\left(\frac{H_A^M(\omega)}{V_A^M(\omega)}\right)}{\left(\frac{H_B^M(\omega)}{V_B^M(\omega)}\right)} \quad (6a)$$

ここに、

$$\beta = \frac{\left(\frac{\beta_{PA}^E}{\beta_{PA}^M}\right)}{\left(\frac{\beta_{PB}^E}{\beta_{PB}^M}\right)}, \quad \gamma = \frac{V_A^E(\omega)}{V_B^E(\omega)} \quad (6b)$$

したがって、式(6)から、A観測点の地震動水平成分スペクトルは、次式のようにB観測点の地震動水平成分スペクトルに、両観測点の常時微動H/Vスペクトル比を補正することにより求められることになる。

$$H_A^E(\omega) = \alpha \frac{\left(\frac{H_A^M(\omega)}{V_A^M(\omega)} \right)}{\left(\frac{H_B^M(\omega)}{V_B^M(\omega)} \right)} H_B^E(\omega) \quad (7)$$

ここに、 $\alpha = \beta\gamma$ 。

ここで、式(7)の震源からの伝播特性に関する補正係数 β について考察する。もしも、震源からの距離に比べ A, B 観測点間距離が十分に短い場合、震源から両地点までの伝播特性は同じであると仮定でき、 $\beta_{P_A}^E \approx \beta_{P_B}^E$ とみなすことができる。しかし、 β に含まれる常時微動の伝播特性比 $\beta_{P_n}^M$ や地震動の伝播特性比 $\beta_{P_n}^E$ に関する定量的評価は難しいので、式(5a)のように伝播特性比 $\beta_{P_n}^E / \beta_{P_n}^M$ を残している。今後、波動場の理論的検討から明らかにしてゆく必要がある。

次に、AとB観測点の地震動上下成分の比 γ (式(6b)) に関する考察をする。中村⁹⁾ や丸山ら³⁾ は、S波とP波の実体波の鉛直入射を仮定した表層地盤の振動数伝達関数の考察から、S波伝達関数のピーク付近でP波伝達関数は1に近いことを確認しており、これより両地点の地震動上下成分はほぼ等しいとしている。このことを考慮すると、常時微動のH/Vスペクトル比のピーク値の振動数(地盤の卓越振動数)において、 $\gamma=1$ とみなすことができる(観測記録を用いて3章の(3)節で検討する)。

式(7)は地震動推定法の一般形であり、既往の丸山ら³⁾ や大熊ら⁵⁾ の研究では、式(7)で、 $\beta=1$ 、 $\gamma=1$ とし $\alpha=1$ を仮定した地震動推定法を用いていることになる。本研究では、常時微動の震源位置から常時微動観測点までの伝播特性の理論的評価は難しいので、式(6b)や式(7)のように係数 β を残している。

式(7)で、 $\alpha=1$ とすると、基準地点(B観測点)の地震動波形のフーリエスペクトル(複素数)にA, B両地点の常時微動H/Vスペクトル比(実数)の補正のみによって推定地点(A観測点)の地震動波形のフーリエスペクトル(複素数)を推定することができる。なお、本推定法では、推定地震動の位相特性は基準地点の地震動の位相特性と同じである点に注意しておく。このように考えると、式(7)の α 値は、A, B両地点の常時微動H/Vスペクトル比の補正のみによる地震動推定の誤差を表すものと解釈することができるため、 α 値によって推定地震動に含まれる振動数特性の推定精度を評価することができる。

以下の章では、2地点間の距離が震央距離に比べて十分に短い3~6 kmの観測記録を用いて、式(7)の補正係数 α と γ を計算し、これらの特性から、式(7)の推定精度について検討する。

表-1 検証に用いた地震

番号	地震発生年月日	震源位置		震源深さ(km)	地震規模
		緯度(°)	経度(°)		
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

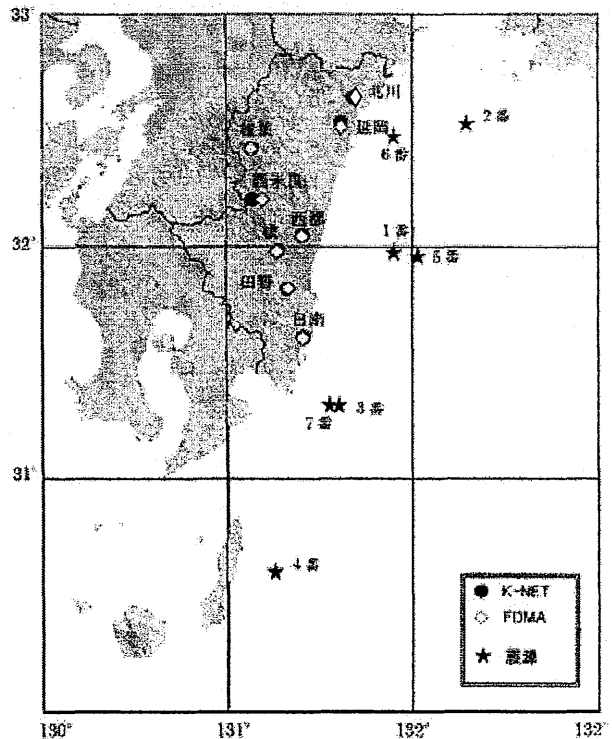


図-1 解析の対象とした宮崎県内の地震動観測点と地震の震央

3. 常時微動記録と地震動記録を用いた地震動推定法の検証

(1) 検証に用いた観測点と地震動観測記録

1995年兵庫県南部地震をきっかけとして、自治省消防庁は、1995年から1996年にかけて全国3207箇所の強震動観測点からなる震度情報ネットワークシステム(FDMA)を導入した。このうち496地点はK-NETの観測点を利用している。K-NETと共用している点を除くと、宮崎県内には、FDMAの観測点が32箇所あり、K-NETと同様に宮崎県の震度情報ネットワークに利用されている。

本研究では、図-1に示す宮崎県内8箇所のK-NET観測点(●)と近傍(3~6km内)のFDMA観測点(◇)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)の観測記録を用いる。図-1には、7地震の番号と震央位置も示している。図-1から、本検証で用いた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の観測記録を用いていることがわかる。

各観測点の地震動観測記録から、地震動の3成分加速度フーリエスペクトル振幅を計算し、1.0HzのParzen Windowを施し、スペクトルの平滑化を行った。既往の研究^{3), 5)}と同じ方法で、周期0.05秒~2.0秒の地震動のH/Vスペクトル比を計算した。

(2) 検証に用いた常時微動記録

図-1に示す8箇所のFDMA観測点とK-NET観測点における常時微動記録は、大熊らの研究⁵⁾のデータを使用し、振幅が比較的安定している20秒間の波形データを5~10組を選び出した。これらの波形に対して、フーリエスペクトル振幅を求め、同じく1.0HzのParzen Windowを施した各成分のスペクトル振幅からH/Vスペクトル比を計算し、それぞれのH/Vスペクトル比を平均したものを最終的なH/Vスペクトル比とした。

(3) 常時微動と地震動記録のH/Vスペクトル比の比較

既に大熊ら⁵⁾の研究から、各観測点における常時微動の平均H/Vスペクトル比と地震動の平均H/Vスペクトル比の形状は、ほぼ等しいことがわかっているが、ここでは、本研究で用いた7地震による地震動の平均H/Vスペクトル比と常時微動の平均H/Vスペクトル比の対応関係を比較し確認しておく。

また、宮崎県内8箇所のK-NET観測点を式(7)のB観測点と考え、これを基準波形とし、FDMA観測点のA観測点の地震動波形を推定することとする。7つの地震による8観測点の α 値と両観測地点の地震動上下成分比 γ を求めた。

図-2は、綾(2a)、北川(2b)、延岡(2c)、日南(2d)、西米良(2e)、椎葉(2f)、西都(2g)、田野(2h)の8箇所におけるK-NET観測点とFDMA観測点の地震動と常時微動の平均H/Vスペクトル比および α 値と γ 値を示している。各図の左上図と左下図では、K-NET観測点とFDMA観測点の地震動平均H/Vスペクトル比(細黒線)と常時微動平均H/Vスペクトル比(粗灰線)を比較している。右上図と右下図には、両観測点記録から求めた平均 α 値と地震動平均上下動スペクトル比 γ を示している。また、(●)と(◇)はそれぞれK-NET観測点とFDMA観測点の卓越周期(地震動平均H/Vスペクトル比のピークを与える周期)を示す。

図-2の各観測地点の地震動平均H/Vスペクトル比(細黒線)と常時微動平均H/Vスペクトル比(粗灰線)

を比較すると、大熊ら⁵⁾の研究と同様に両者はよく一致しており、特にH/Vスペクトル比のピーク値の周期(地盤の卓越周期)の一致度の良さがわかる。このピーク値の周期に比べ、地震動と常時微動のH/Vスペクトル比のピーク値の一致度は劣る。これは、式(5a)または式(6)のような地震動や常時微動の震源から観測点までの伝播特性に係わる係数 $\beta_{Pn}^E / \beta_{Pn}^M$ がピーク値の振幅に影響していることを示しているものと思われる。

平均 α 値に注目する。図-2より、北川(2b)と延岡(2c)を除いてK-NETとFDMA観測点の卓越周期付近の平均 α 値は0.5~2の間に分布し、周期0.06秒から2秒の範囲でも、0.4~4の範囲であることがわかる。したがって、この誤差を許容するならば、式(7)で、 $\alpha=1$ を仮定し、A、B両地点の常時微動H/Vスペクトル比の補正のみによって、地震動の推定ができることになる。

なお、北川(2b)と延岡(2c)に関しては、 α 値の変動が大きい。その原因は、両地点の地震動上下成分比 γ にあると考えられる($\alpha=\beta\gamma$, 式(7)参考)。事実、図-2より、北川(2b)と延岡(2c)では、平均 γ 値は卓越周期近傍で、0.15~1.0と大きくばらついている。現時点で、両観測点近傍の地盤構造は不明であるが、中村⁹⁾や丸山ら³⁾のS波とP波の実体波の鉛直入射を仮定した表層地盤の振動数伝達関数の考察による、S波伝達関数のピーク付近でP波伝達関数は1に近いことや佐藤ら¹⁰⁾の不整形地盤と coda波のH/Vスペクトルに関する示唆を含めて考えると、北川(2b)と延岡(2c)でのK-NET観測点とFDMA観測点の近い2地点間においてさえも、基盤や表層地盤構造が大きくかわっていること(不整形性)に原因があるように思われる。

以上のことを整理すると、表-2(○は推定誤差が少ない地点、×は推定誤差の大きい地点)のように、検証に用いた宮崎県8箇所の内、6箇所の地域では、K-NET観測点の地震動スペクトル振幅にK-NET観測点とFDMA観測点の常時微動のH/Vスペクトル比の補正をすることによって、FDMA観測点の地震動スペクトル振幅が推定できることがわかった。

表-2 α 値による推定誤差の判断

観測地	綾	北川	延岡	日南
推定の良否	○	×	×	○
観測地	西米良	椎葉	西都	田野
推定の良否	○	○	○	○

4. 地震動波形と応答スペクトルから見た地震動推定法の検証例

この章では、表-2に示す地震動の推定が可能な地域の中から、西都と田野を取り上げ、K-NET観測点とFDMA

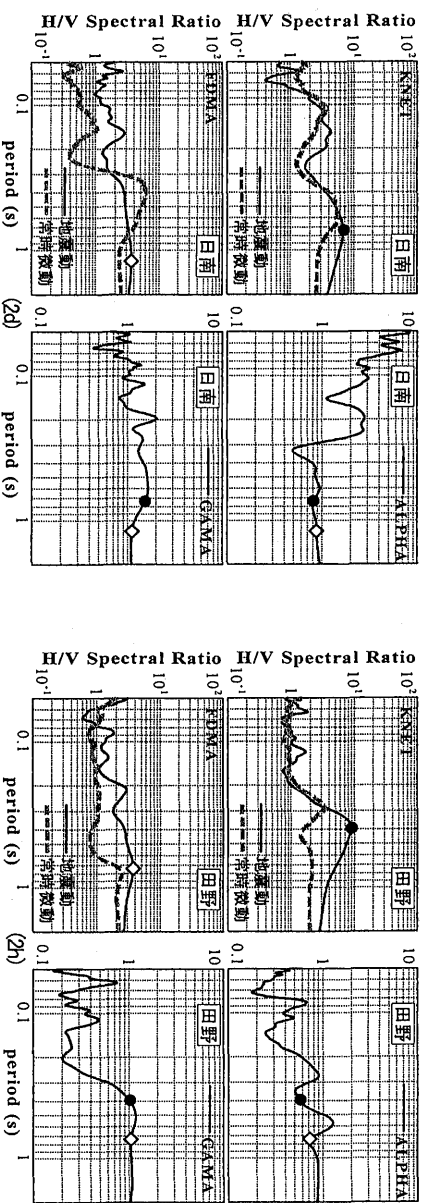
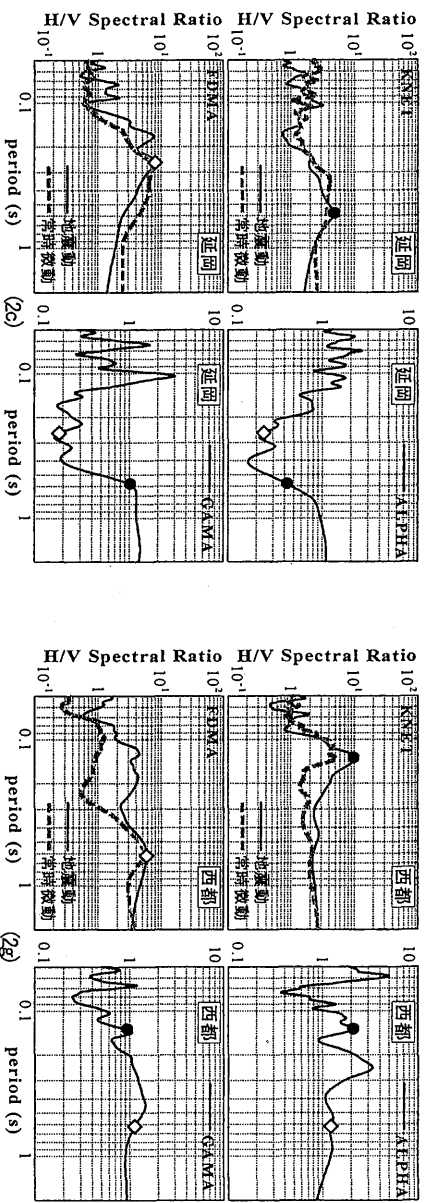
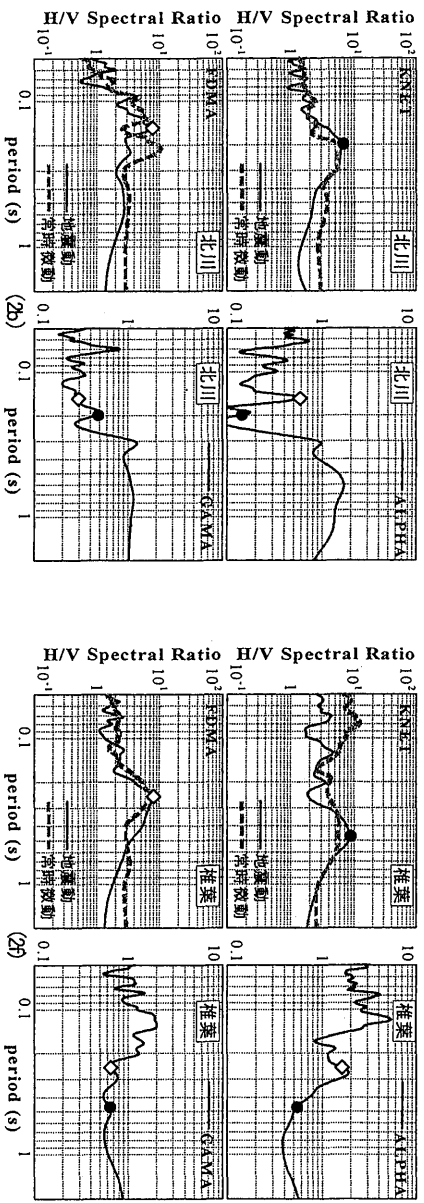
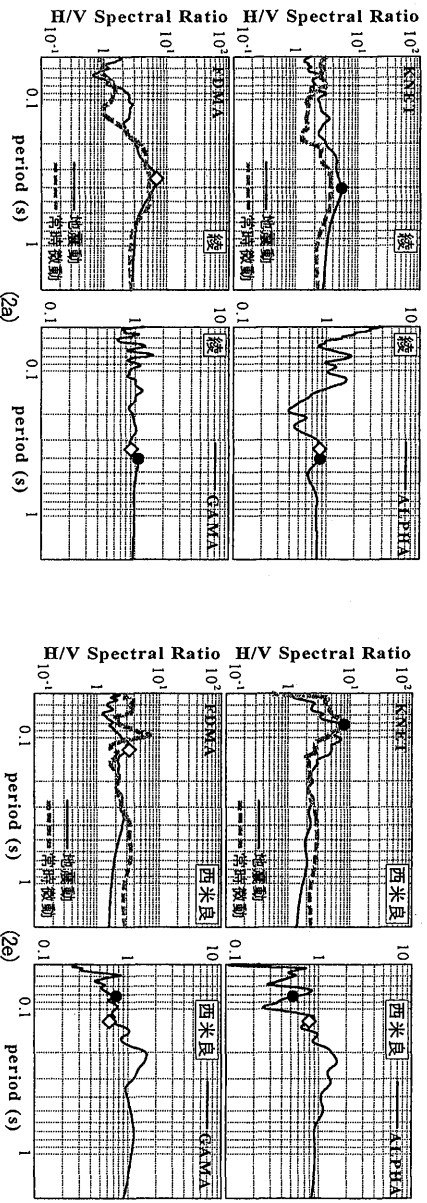


図-2 8つの観測点の地震動と常時微動のH/Vスペクトル比および α 値と γ 値
 (●) K-NET観測点で観測された地震動の卓越周期 (◇) FDMA観測点で観測された地震動の卓越周期)

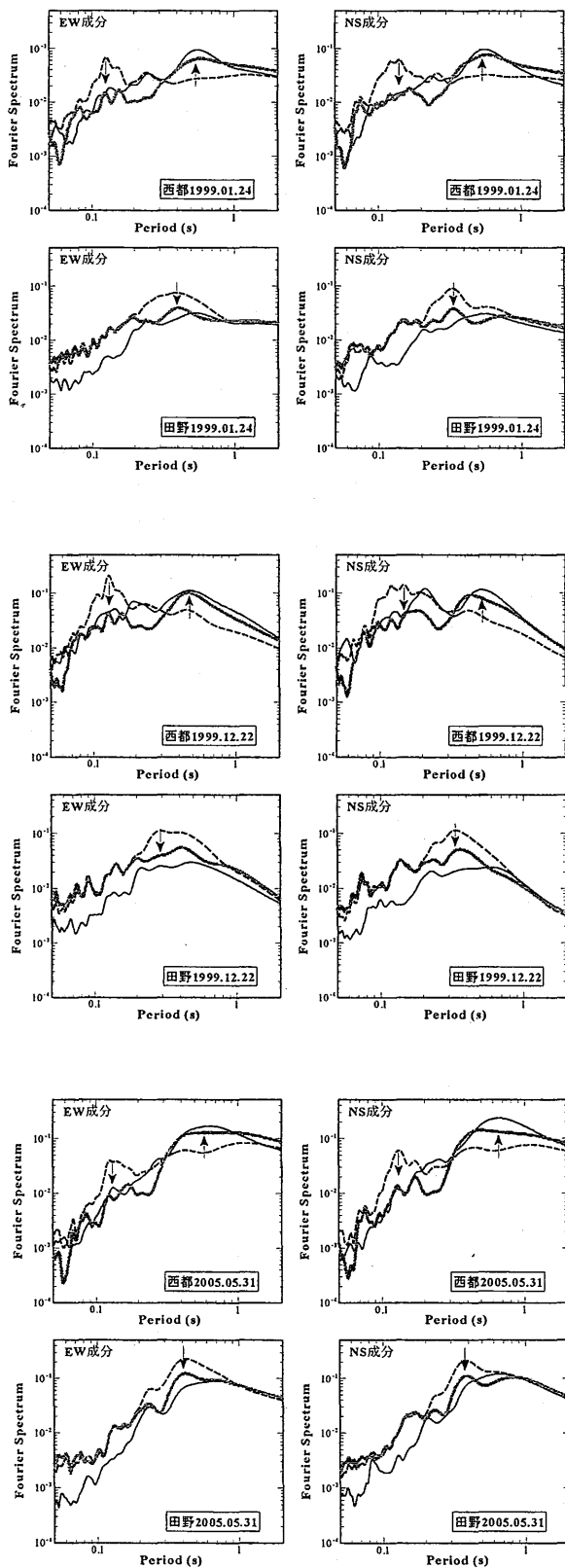


図-3 西都と田野における観測地震動と推定地震動のフーリエスペクトル振幅の比較

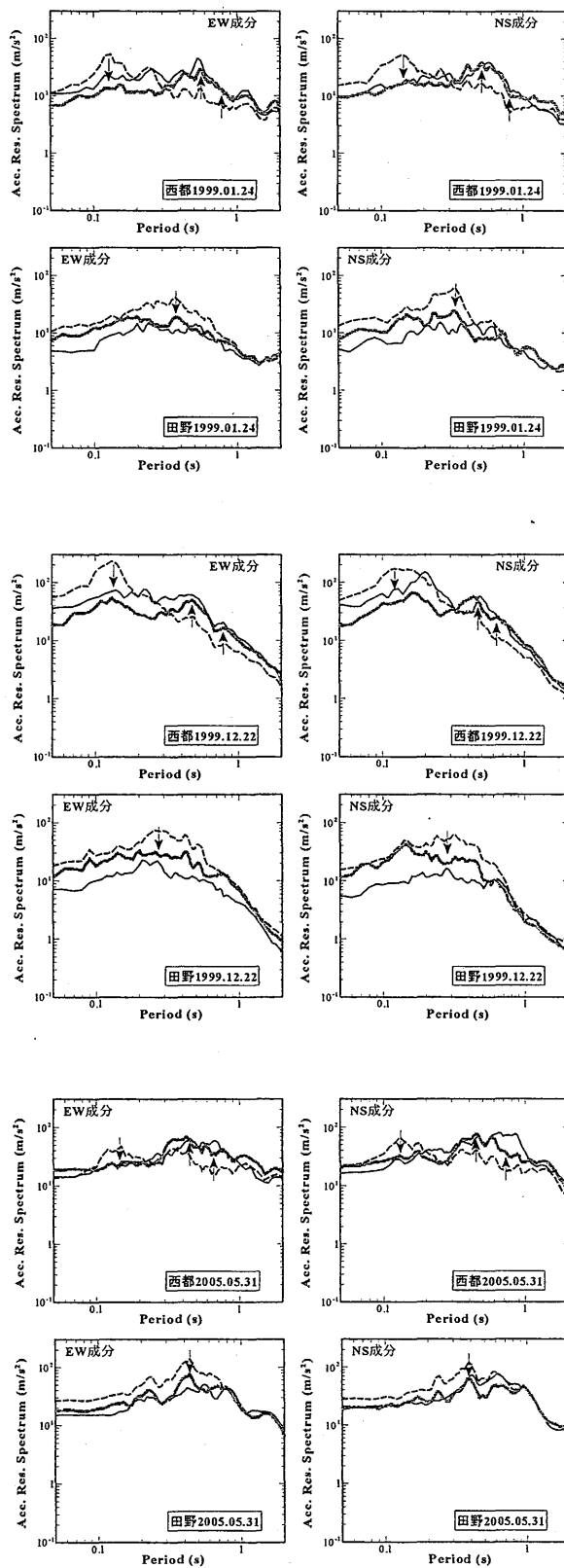


図-4 西都と田野における観測地震動と推定地震動の加速度応答スペクトル(5%減衰)の比較

----- KNETの観測波形 (基準波形) ———— 推定FDMA波形 ———— FDMAの観測波形 ----- KNETの観測波形 (基準波形) ———— 推定FDMA波形 ———— FDMAの観測波形

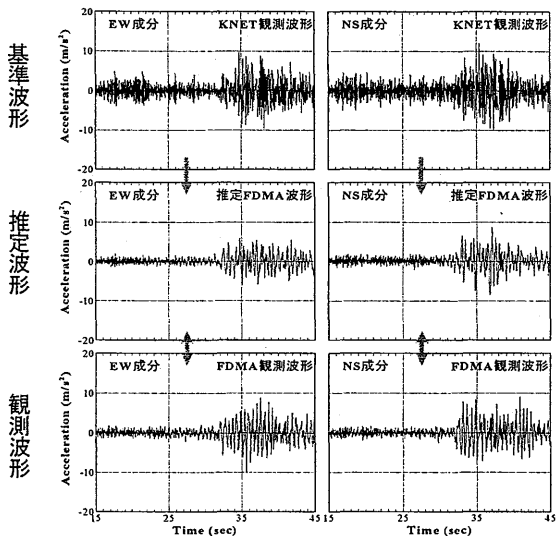


図-5a 西都における観測地震動と推定地震動の比較

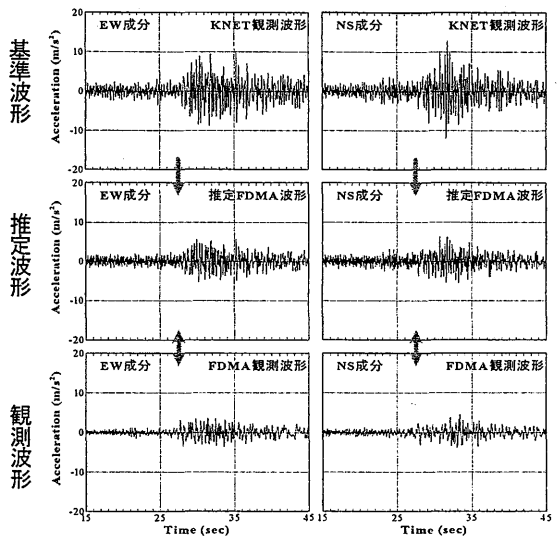


図-6a 田野における観測地震動と推定地震動の比較

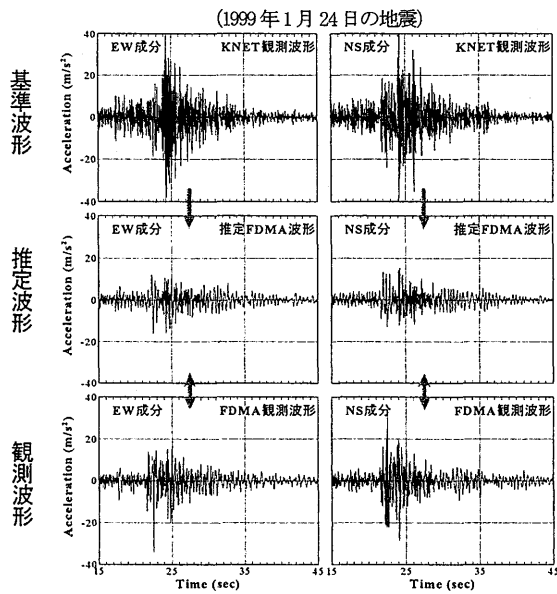


図-5b 西都における観測地震動と推定地震動の比較

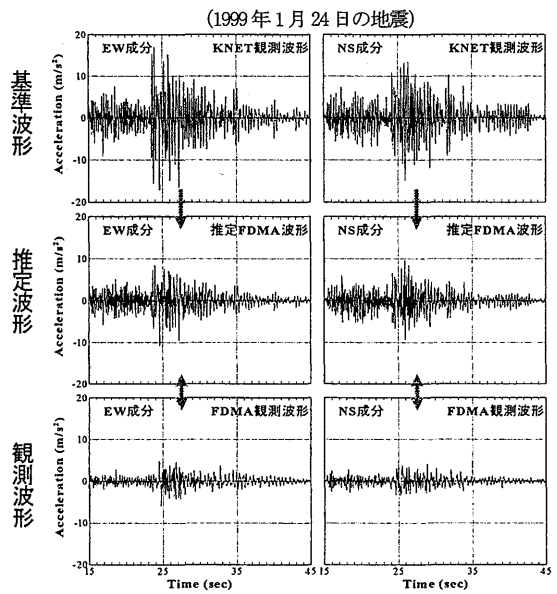


図-6b 田野における観測地震動と推定地震動の比較

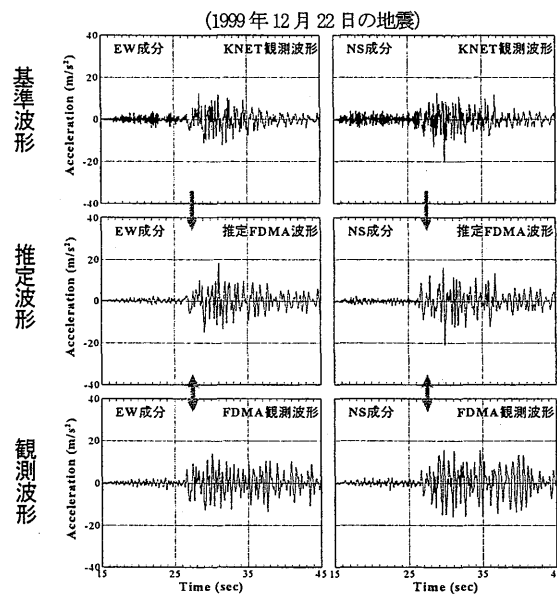


図-5c 西都における観測地震動と推定地震動の比較

(2005年3月31日の地震)

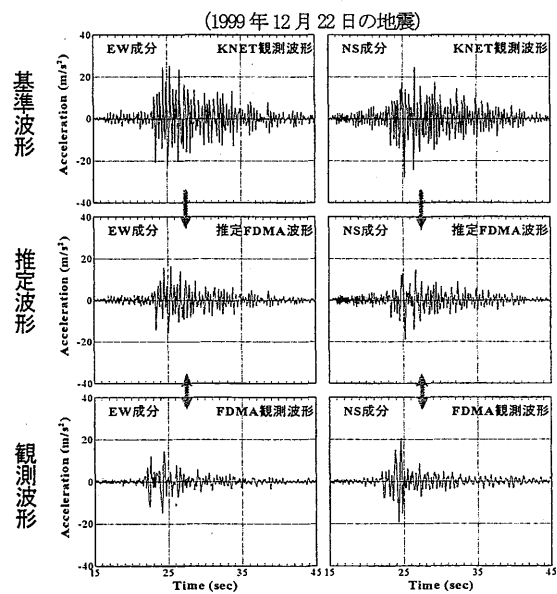


図-6c 田野における観測地震動と推定地震動の比較

(2005年3月31日の地震)

観測点の常時微動 H/V スペクトル比を利用して、 $\alpha = 1$ を仮定した式(7)によって地震動を推定し、実際の観測記録と比較する。また、推定誤差の大きい地点として、延岡を取り上げ、推定地震動と観測記録の違いを示す。

ここでは、K-NET 観測点の観測記録を基準波形としてこのフーリエスペクトル(複素数)を計算し、これに式(7)にしたがって両地点の常時微動 H/V スペクトル比(実数)をかけて推定地点のフーリエスペクトル(複素数)を求め、これの逆フーリエ変換により FDMA 観測点の地震動を推定する(推定 FDMA 波形)。したがって、推定 FDMA 波形の位相特性としては、K-NET 観測点の観測記録の位相特性と同じものを用いているので、振動数特性のみを補正して FDMA 観測点の地震動を推定していることになる。

まず、図-3 に西都と田野における3つの地震(1999年1月24日の地震、1999年11月22日の地震、2005年5月31日の地震)による K-NET 観測記録(基準波形)のフーリエスペクトル振幅(細い黒点線)と、それを使って推定した FDMA 波形のフーリエスペクトル振幅(太灰実線)、並びに実際の FDMA 観測記録波形のフーリエスペクトル振幅(細い黒実線)を示す。K-NET 観測点と FDMA 観測点の卓越周期付近では、EW 成分と NS 成分ともに、波形の推定精度のよいことが確認できる(図-3の矢印は、基準点のフーリエスペクトル振幅が補正されて観測波形のフーリエスペクトル振幅に近づいていることを示す)。

また、図-4、図-5 と図-6 には、この3つの波形(K-NET の基準波形、推定 FDMA 波形と FDMA の観測波形)の EW 成分と NS 成分の加速度応答スペクトル(5%減衰)と加速度波形を示す。推定加速度波形とその加速度応答スペクトルは、観測波形とその応答スペクトルに近づいていることがわかる。

したがって、図-3 から図-6 に示したように推定波形やその特性値を観測波形やその特性値と比較した結果から、式(7)で $\alpha = 1$ を仮定し、両地点の常時微動 H/V スペクトル比の補正のみから地震動の推定が可能であることがわかる。特に、卓越周期付近の応答スペクトルや、加速度波形の振幅がよい精度で推定できていることがわかる。

一方、推定誤差が大きいと判断された延岡に関しては、1999年11月22日の地震による K-NET 観測波形(基準波形)、FDMA 観測波形、並びに推定 FDMA 波形のフーリエスペクトル振幅、応答スペクトル、および加速度波形を比較し、これらを図-7、図-8 と図-9 に示す。これらの図から、 $\alpha = 1$ と仮定して式(7)から推定した推定波形の近似度が低いものとなっていることがわかる。特に、

卓越周期付近では、推定 FDMA 波形の振幅が実際の FDMA 観測波形よりもかなり大きくなり、推定精度が悪くなっている。

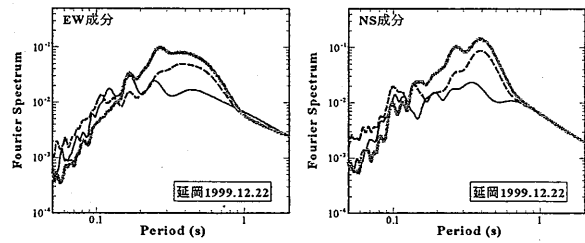


図-7 延岡における観測地震動と推定地震動のフーリエスペクトル振幅の比較(1999年12月22日の地震)

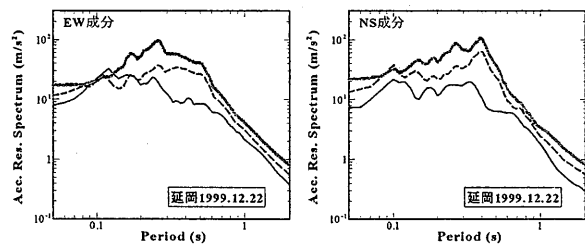


図-8 延岡における観測地震動と推定地震動の加速度応答スペクトル(5%減衰)の比較(1999年12月22日の地震)

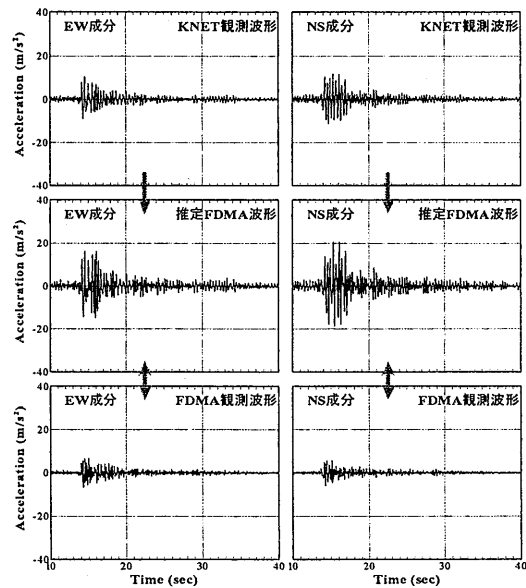


図-9 延岡における観測地震動と推定地震動の比較(1999年12月22日の地震)

5. まとめと課題

常時微動観測結果と近傍の地震動観測記録のみを用いて、地盤情報に頼らない地震動推定法の定式化を示し、

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)観測点の地震動記録と常時微動観測記録を使って、この定式化による地震動推定法の検証をおこなった。その結果をまとめると、以下ようになる。

- 1) 地震動と常時微動の伝播特性の比 β と地震動の上下成分比 γ の積で表される補正係数 $\alpha (= \beta \gamma)$ および常時微動H/Vスペクトル比による補正係数を用いる地震動スペクトル振幅の推定方法の定式化を示した。この推定法は全周期帯域というよりはむしろ、地盤の卓越周期近傍の周期帯域での推定である。
- 2) 宮崎県内の8観測点のうち、延岡、北川の2つの観測点を除くと、 $\alpha = 1$ と仮定できることを示した。
- 3) 補正係数 α を1とし、常時微動H/Vスペクトル比の補正だけから地震動スペクトル振幅を推定する場合、周期0.06秒から2秒の範囲での推定地震動スペクトル振幅は、実地震動スペクトル振幅の0.4~4倍の範囲であることを示した。地盤の卓越周期近傍では、誤差は約半分になり、推定地震動スペクトル振幅は、実地震動スペクトル振幅の0.5~2倍の範囲であることを示した。
- 4) 推定精度が悪い延岡、北川の2つの観測点では、地震動の上下成分比 γ が1ではなく上下成分比が影響していることを示した。

今後の課題としては、延岡、北川の2つの観測点の地盤構造の不整形性と補正係数 γ の関係の調査や、さらに観測点数を増やし、本論文の補正係数や推定誤差の分析を通し、推定法の検証をしてゆく必要がある。

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、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、No.675/I-55, pp.261-272, 2001.
- 4) Kinoshita, S.:Kyoshin NET(K-net), Seism Lett., Vol. 69, pp.309-332, 1998.
- 5) 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.
- 6) Aoi, S., Obara, K., Hori, S., Kasahara, K., and Okada, S.:New strong motion observation network: KiK-net, EOS., Trans. Am., Geophys., Union., Vol.329, 2000.
- 7) 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.
- 8) Bath, M.: Spectral analysis in geophysics, Elsevier Scientific Publishing Company, p.272, 1974.
- 9) Nakamura, Y.: Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its application, Proc. Of the 12th World Conference on Earthquake Engineering, CD-ROM, 2000.
- 10) 佐藤智美、川瀬博、松島信一：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2, 51巻, 3号, pp.291-318, 1998.

(2007年4月6日 受付)

A METHOD OF ESTIMATING EARTHQUAKE GROUND MOTION USING MIROTREMOR H/V SPECTRAL RATIO AND ITS VERIFICATION BY OBSERVED RECORDS

Hongze WANG, Takanori HARADA 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 path effect factor of waves β , and the site factor of vertical ground motions γ . By using the observed microtremor records and earthquake ground motions in the Miyazaki Prefecture, the presented estimation method is examined. And also the error of estimation of Fourier spectral amplitude of earthquake horizontal ground motion is discussed.