

常時微動測定による松山平野の三次元地盤構造の推定

Estimation of the three-dimensional geological structure of Matsuyama Plain by microtremor measurements

森 伸一郎*・俵 司**

Shin'ichiro MORI* and Tsukasa TAWARA**

*工博, 愛媛大学助教授 工学部環境建設工学科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町 3)

**愛媛大学大学院学生 理工学研究科環境建設工学専攻 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町 3)

The Matsuyama Plain is formed of the Quaternary alluvial fan sediment on the Izumi Group as its base rock. The Iyo fault lies along the southern boundary of the plain and is thought as the most hazardous earthquake-inducing active fault to Matsuyama area. However, the geological structure of the plain is not well known. For estimation of the basin structure of the plain, the microtremor measurements were carried out along many lines of north-south direction across the plain. The Fourier spectrum ratios of the horizontal component to the vertical of the microtremor (H/V spectrum) were calculated and the predominant frequencies or periods were recognized through them. The distributions of the predominant periods on the lines indicate the deeper portions which may coincide the location of old rivers.

Key Word : microtremor, H/V spectrum ratio, Matsuyama Plain, geological structure, ancient geomorphology

1. はじめに

松山平野は、東から西に流れる急流河川である重信川の扇状地性堆積物の上に重信川や石手川等による沖積層が形成され、南北は和泉層群からなる丘陵地に挟まれている。平野の表層は、重信川の扇状地性堆積物から成り、砂礫層が優勢であるが砂層・粘性土層の互層状態となり連続しているものと思われる。また基盤は白亜系和泉層群であると考えられる²⁾。そして、その形は東側に頂点を西側に底辺を置いた二等辺三角形形状をしている。

一方、南の丘陵地と接する平野の境界には伊予断層が走っており、この活断層による地震が活動すれば松山市に最も多大なる被害をもたらすことが、松山市の地域防災計画¹⁾で想定されており、ハザードマップとして報告されている。ただし、この計画には想定の根拠となった解析方法や解析条件が記されていない。

松山平野内の都市である松山市、伊予市、松前町、砥部町、重信町の地震防災を考える上で、松山平野のハザードマップの合理的な作成が必要であり、そのためには松山平野の地下構造を把握することが決定的に重要である。松山平野の地下構造については、建設省四国地方建設局松山工事事務所³⁾によれば、平野東端部の横河原で

-20~-30m、見奈良付近から-100m以深に下降、中流部の松山市高井で-200mに達する。また、愛媛県水理地質図⁴⁾によれば松山平野の基盤等深度線と地質断面図が示されているが、重信川の上流部から下流部に向かって深く、山麓部から平野中央部に向かって深くなる様子が描かれている。これらの地下構造は地質学的に推定されているものの、鹿島・篠原⁵⁾によれば基盤岩に達するボーリングが3本(重信町井口:160m 未着岩、松山市高井町:209m 着岩、松前町:178m 着岩)程度であり、まだよくわかっていないと言える。

以上のことから、この地域の地震危険度を考えるときの基礎となるハザードとしての地盤震動の評価には、伊予断層による地震の評価とともに地震応答を支配する松山平野の地下構造の把握が極めて重要である。

さて、地下構造の探査には様々な手法があるが、簡便な方法として常時微動の利用がある。常時微動は、人間の日常活動、交通、人為的な振動、気圧変動や風などの気象、波浪などの海象などにより生じるごく微小な振動であり、時間や空間を問わず存在する。常時微動は実体波や表面波の集まりであると考えられ、振動源の特性、伝播経路や地下の地盤構造の特性を反映したものである。しかし、常時微動の振動源は前述のように地表面や海底

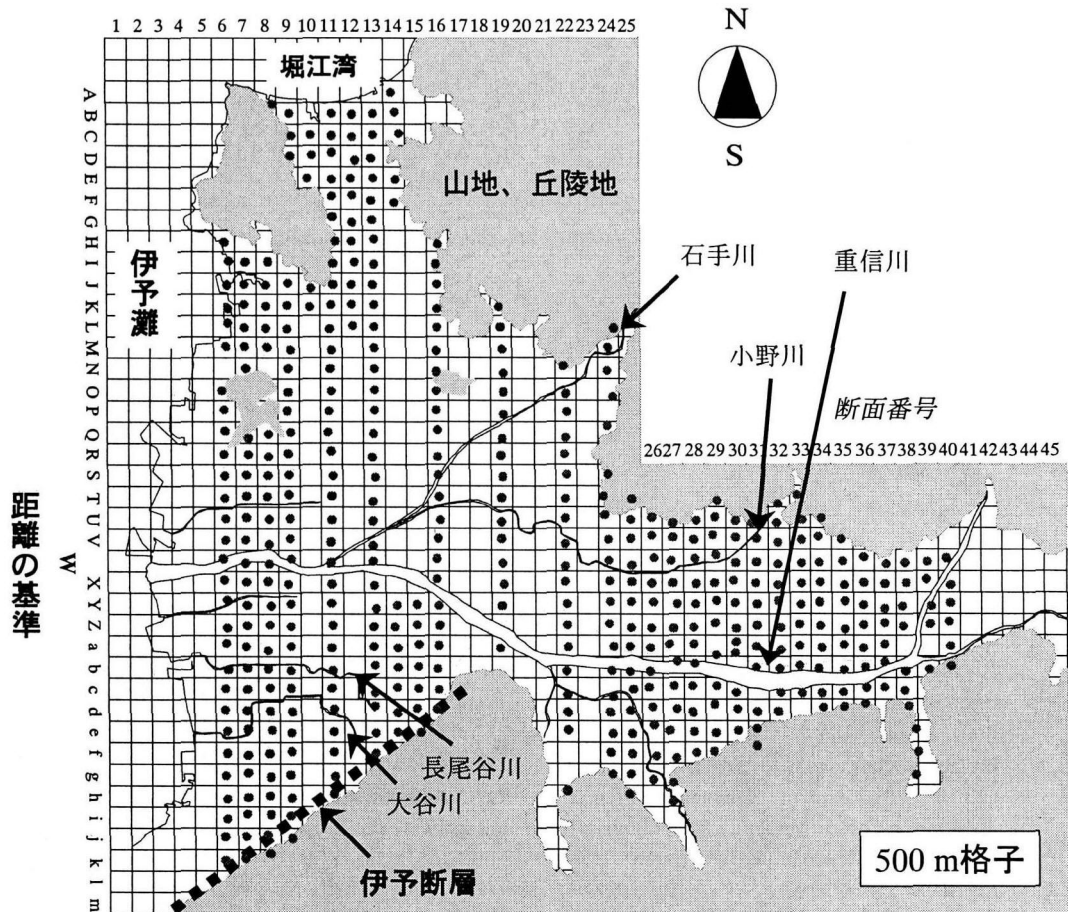


図-1 松山平野と常時微動観測地点の分布

面にあると考えられるため、表面波が卓越していると考えられている。したがって、常時微動の観測記録から表面波を抽出して、表面波の性質を利用して観測点の直下の地盤構造を推定することが行われる。

常時微動の利用にも、表面波の分散曲線を検出して地下の速度構造を逆解析するアレイ観測による推定方法^{6)~12)}や一地点の測定により水平動と上下動のフーリエスペクトルの比（以下 H/V スペクトル比を言う）を用いて地盤の卓越周期を推定する方法^{13)~24)}がある。アレイ観測による方法でも、レイリー波の基本モードの分散曲線に基づくもの^{6)~7),8)}や高次モードを考慮したもの¹⁰⁾があり、深い地盤構造^{9)~11),12)}から浅い地盤構造¹⁰⁾まで推定されている。H/V スペクトル比による方法は、野越¹³⁾により提案され塩野ら¹⁴⁾は長周期微動の H/V スペクトル比が地下構造から計算されるレイリー波基本モードの水平鉛直振幅比の周期特性と対応することを指摘している。同様の考えが短周期微動について中村¹⁵⁾により提案され、多くの点で観測することにより地下構造の相似性を仮定して基盤構造を推定する方法を開発した¹⁶⁾。レイリー波の水平上下スペクトル比に対応すること¹⁷⁾、高次モードまで考慮することで浅い地盤構造とも対応すること^{23),26)}、実体波と表面波の寄与^{20),22)}についても明らかにされた。表層と基盤の速度のコントラストが大きい場合に適用性が

高いことが明らかにされ^{17),19)}、いくつかの地域で広範囲の基盤構造が明らかにされた^{19),23),24),27)}。一方、中村は H/V スペクトル比の振幅は地震動の増幅特性を表すものと提案¹⁵⁾して、これに沿う研究^{21),25)}もなされているが、微動は表面波が支配的であることから、その適用性については明らかにされていない。

そこで、松山平野の概略の地下構造を推定することを目的として常時微動観測を行ってきた。本研究では、常時微動の H/V スペクトル比を用いて地盤の卓越周期を検出することとし、はじめに基盤構造のおよそわかっている南北 1 断面について測定を行い推定法の適用性を検討し^{6)~10)}、その測定成果を踏まえて、平野全体の堆積地盤構造を把握するための測定を行い、平野の三次元基盤構造の推定を試みている。幾つかの南北の測線に沿う観測を断続的にはあるが平野全体を概略覆える程度にまで行い、概略の地下構造を推定するとともに、その成因について知見が得られた。

2. 微動観測

地域防災計画における地震危険度評価の格子サイズが 250 m であること及び全域を網羅する実行可能性を考慮して、500 m の格子を設けた。常時微動測定点はできる

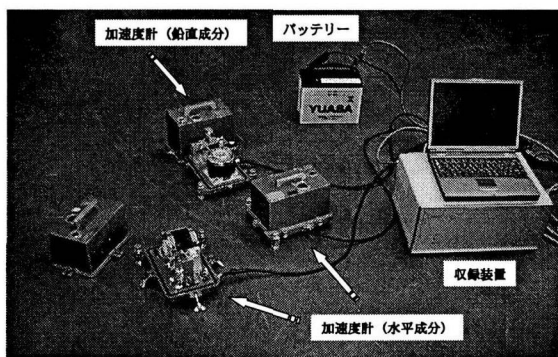


写真-1 常時微動観測に用いた地震計と収録装置

限り格子中央付近を選定した。図-1に本研究における松山平野における観測地点の分布を示す。平野は最大で、東西に45、南北に38の格子数になる。東西に20の南北方向断面で測定を行った。おおよそ松山平野全体を覆っているのがわかる。黒丸が、測定を行った領域である。なお、格子は松山平野を覆うように設定して、格子線に挟まれる領域に、南北方向断面に西から東に向かって1から始まる正の整数を45まで、東西断面に北から南に向かってアルファベット順にアルファベット一文字をAからZまでと、Z以降はaからkまでを割り振ることで、東西南北に格子状に区切られた領域に区域名を設定した。

写真-1に常時微動観測に用いた地震計と収録装置を示す。地震計は3 mV/galの動電型加速度計（勝島製作所製 PK-130）で、水平方向（NS,EW 成分）及び、鉛直方向（UD 成分）の3成分を用いた。EW 成分, NS 成分, UD 成分で、固有振動数と減衰定数は、それぞれ約3 Hzと12~13である。地震計は、3 mV/galで0.3~30 Hzでほぼ平坦な利得特性を有している。S/N 比を少しでも良くするため信号線の長さは短くし、3.5 mとしている。図-2に地震計の振動数特性を示す。0.3 Hz 付近の低振動数の成分に対する精度は高いものではないが、クランプ状態で測定された記録のフーリエスペクトルと比較することにより、低振動数ほど大きくなるノイズの判定を行い、記録ごとに有意な振動数の下限を全て検討している。加速度記録は増幅器により50倍に増幅し、30 Hzのローパスフィルターを通して。また、100 Hz サンプリングで16ビットAD変換の後、収録装置及びパソコンのハードディスクに記録した。

データ分析には200秒間のデータを用いた。分析は原則として次のように行った。フーリエ解析の基本単位は100 Hz サンプリングで2048個のデータ、すなわち20.48秒間とし、これをセグメントとして切り出す。観測記録の時刻歴から判断して記録の良好な部分を抽出して解析に用いるのが望ましいが、実際には、200秒間のデータから頭部の約164秒のデータを対象にオーバーラップのない8セグメント分を機械的に抽出して分析した。いくつかの測点について、記録の良好な部分を抽出した解析により得られた場合と機械的に記録の頭部から8セグメ

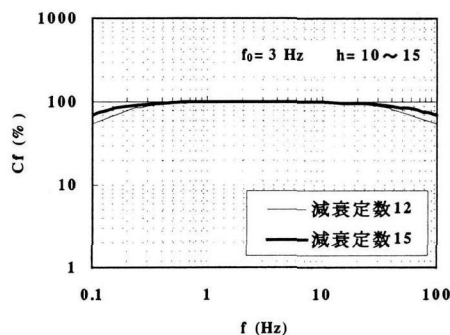
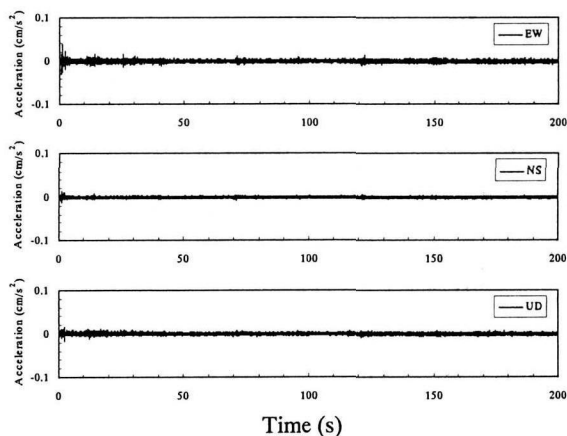
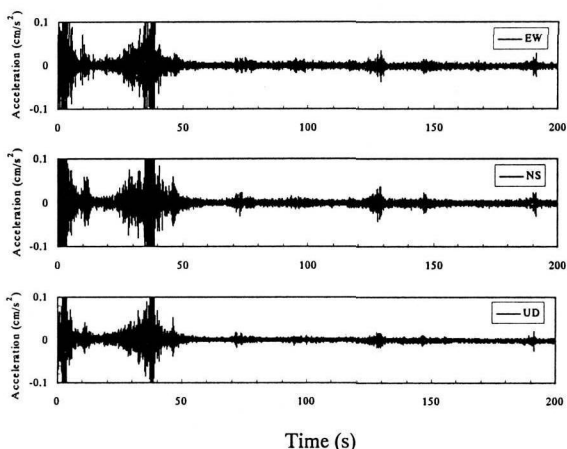


図-2 地震計の周波数特性



(a) 安定した記録 (格子I16)



(b) 不安定な記録 (格子N16)

図-3 加速度時刻歴の例

ント分切り出した場合とH/Vスペクトル比の卓越振動数を比較した結果、大きく違わなかった。1箇所は精度向上より全域の特性の早期把握を目標とし、効率を向上させるため機械的に分析した。前述の8セグメントに対して3成分のフーリエスペクトルまたはその比(H/V)のアンサンブル平均を求めた。さらに、スペクトルを見やすくするためにバンド幅0.5 HzのParzenウィンドウを用いた。後に議論となる2秒程度の波は1セグメントには約10波しか含まれていないが、8セグメントには約80波含まれているので、結果は有意であると考えられる。

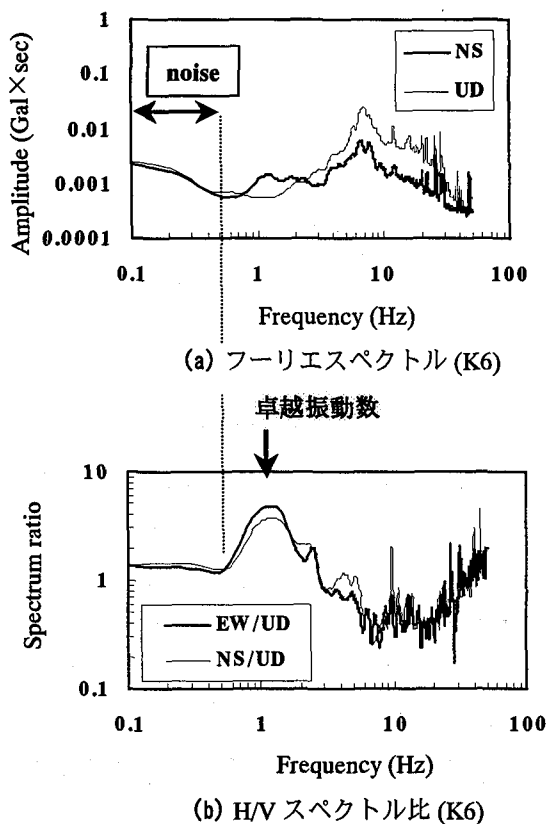


図-4 地盤の卓越振動数を読みとる例 (K6地点)

また、各南北方向断面における卓越周期の分布を示す際には、重信川の河口に位置する W6 を基準として、W6 の距離表示を 0 km とし、W6 断面より北をプラス、南をマイナスと表示した。

3. スペクトルの分析と考察

図-3 に、(a)安定した記録と(b)不安定な記録の加速度時刻歴の例を示す。(a)は格子 I16 のデータであり、平野縁端部に位置しており、測定を行った 03:13 頃には周囲には交通振動はなかった。(b)は格子 N16 のデータであり、国道 196 号線に近いところで、測定を行った 04:16 頃には時折車両が通過しており、図中で振動の大きくなるところは重量の大きい車両が通過した時刻に対応することを確認している。このような記録では、後半を採用するのが望ましいと考えられるが前述の通り記録頭部から 160 秒間を採用している。ただし、採用する区間の違いにより H/V スペクトル比がどの程度異なるのかを検討したが、最大ピークを示す周波数の位置はほとんど同じで、振幅の大きい部分を含む区間の方が滑らかで凹凸の強調されたスペクトル比を得た。車輛の走行が、レイリー波をより励起し、S/N 比を向上させている可能性がある。車輛の走行の影響については、別の機会に深く検討する必要があるが、本研究で検討したサイトでは、H/V スペクトル比の卓越振動数は車輛走行にあまり影響を受けて

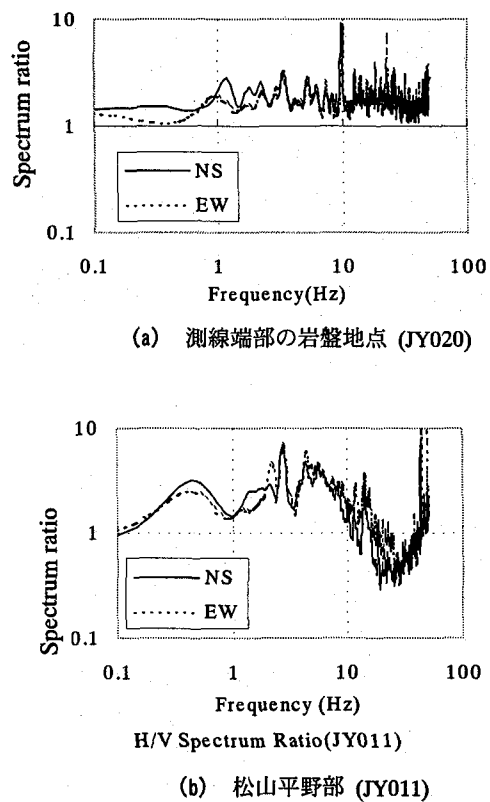


図-5 H/Vスペクトル比の例 (1998年測定)

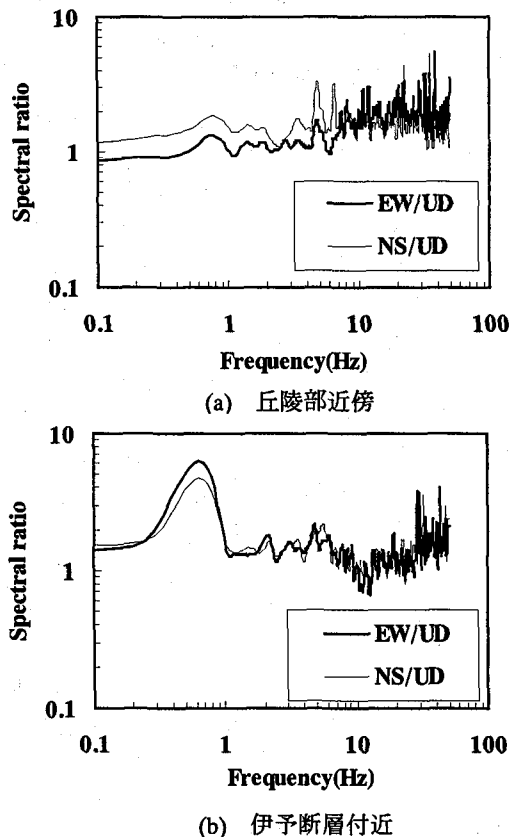


図-6 H/Vスペクトル比の例 (1999年測定)

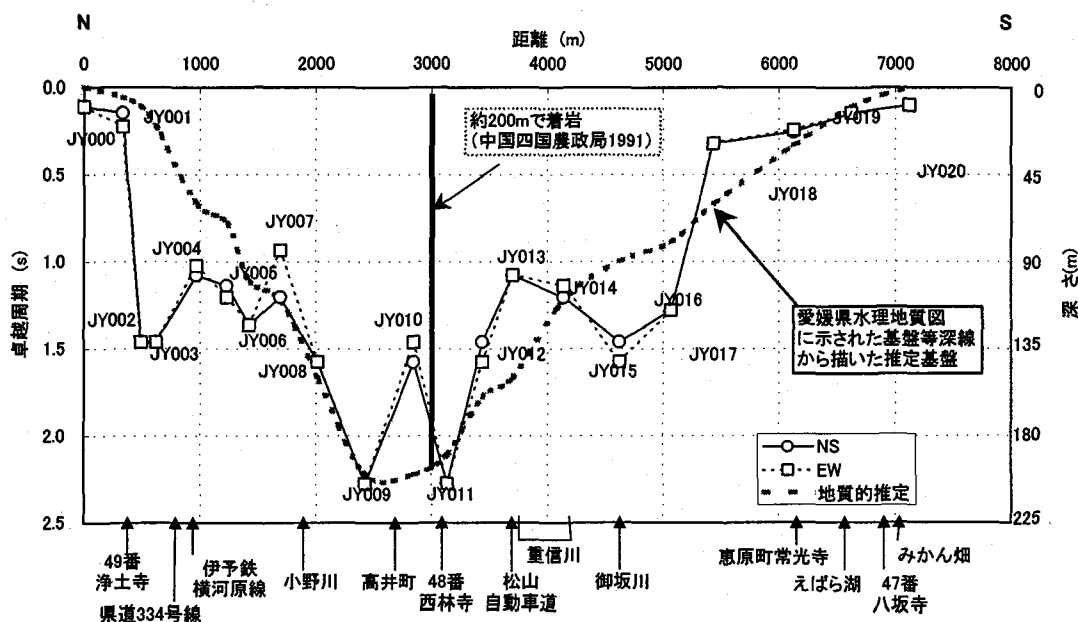


図-7 浄土寺-八坂寺間 (JY 測線) の卓越周期の断面分布 (森・武内 6-9))

いなかった。

さて、地盤の卓越振動数を求めるに当たっては、加速度フーリエスペクトルより低振動数ノイズを判断して、有意と考えられる振動数範囲で最も低い振動数における振幅2以上のH/Vスペクトル比のピークを地盤の卓越振動数とした。このようにして地盤の卓越振動数を読みとる例を図-4に示す。(a)は水平と上下のフーリエスペクトルであり、6~7 Hzを中心に勢力の大きい信号となっており、0.5 Hz以下の領域で低振動数ほど大きくなるノイズが現れている。それに対して、(b)はH/Vスペクトルであり、フーリエスペクトルでノイズの現れていた範囲では平坦で振幅は2以下である。また、勢力は小さいが、1 Hz付近の水平上下の振動の違いがスペクトル比として大きな振幅として現れているのがわかる。

図-5と図-6に地形の違いによるH/Vスペクトル比の例を示す。図-5(a)のように、測線端部の岩盤地点では、H/Vスペクトル比の特性は平坦であるという特徴が認められた。また、図-5(b)のように、表層地質が沖積堆積物の平野中央部では2秒付近に鮮明なピークが現れるという特徴が認められた。図-6(a)のように丘陵地に近い部分においては、H/Vスペクトル比は平坦ではないにせよ起伏の少ない形状であるという特徴が認められた。また、図-6(b)は平野縁端部に位置する伊予断層に近いところであるが、0.8~1 Hz付近に大きいピークが見られ、断層に沿う急峻な深い基盤構造を示唆している可能性があることが認められた。

平野の縁辺部付近では共通する特徴は認められなかった。表層地質図との対応から、表層地質が扇状地性の堆積物か段丘性の堆積物か沖積堆積物かによって特徴付けられるようであるが、詳細な検討は今後の課題である。

4. 基盤深さ既知地点でのキャリブレーション

これまでの研究^{7),11),24),27)}で行われてきたように、基準となる地点の地盤構造がわかっており、他の地点においても構造が相似的であると考えられるのであれば、H/Vスペクトル比による卓越周期の分布は基盤構造の形状と相似であると考えられる。

しかし、H/Vスペクトル比による推定法は基盤と堆積層で弾性波速度のコントラストの大きい場合に特に適用性が高い^{17),19)}が、松山平野の堆積層は前述のように砂礫が優勢な地層であると考えられるので適用性を確認する必要がある。

そこで、松山平野の堆積層の弾性波速度を仮定し、地質構造が既知である地点での推定方法の適用性を確認できれば、それは本研究における推定法のキャリブレーションと位置づけることができる。

松山平野では地盤の弾性波速度に関する情報は少ない。したがって、以下の考察は第1段階の推定として極めて概略的なものである。K-NET²⁸⁾の松山観測点(EHM008)でのPS検層結果によれば、沖積砂礫層のせん断波速度 V_s は270 m/s、洪積砂礫層では V_s が450 m/sと得られている。Konno and Ohmachi²⁹⁾は、14サイトの事例に基づき、基本モードのRayleigh波のH/Vスペクトル比のピーク周期とS波入射の伝達関数の基本周期とは良い一致を示すこと、常時微動のH/Vスペクトル比のピーク周期とS波鉛直入射の伝達関数の基本周期とは、明瞭な卓越を示さない場合を除けば1:1の良い相関があることを示した。そこで、明瞭な卓越を示す場合に限定されるが、常時微動のH/Vスペクトル比の卓越周期は、S波鉛直入射の場合の卓越周期を近似していると捉えられる。そこで、砂・粘性土の層を挟みながら全体として砂礫の卓越するとい

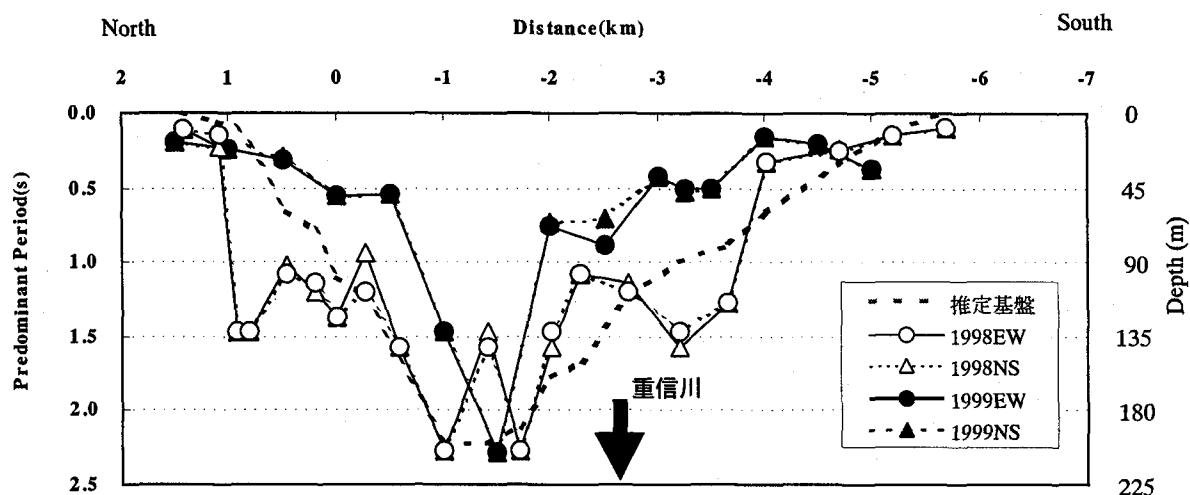


図-8 既知の推定基盤と1998年(JY測線)と1999年(25断面)の観測結果による推定層圧の分布

う表層地盤であることを考慮し、基盤より上の表層の平均的な V_s を 360m/s と仮定する。4分の1波長則により、観測地点における堆積層の概略的な層厚 H (m)は、観測地点の卓越周期 T (s)より、次式で算定できる。

$$H = V_s \cdot T/4 = 90T \quad (1)$$

そこで、松山平野を南北に横断する47番浄土寺と49番八坂寺を結ぶ測線(JY測線)において21点の常時微動観測を行い、 H/V スペクトル比に基づき基盤構造を推定した(森・武内^{30)・33)}。JY測線は既往の地質資料の多い測線である。測線両端部の観測2地点は山麓部に位置する。図-7に浄土寺-八坂寺間(JY測線)の卓越周期の断面分布を示す。この図では縦軸は周期であるが深さ方向を正とすることによって、式(1)に基づいて堆積層厚分布すなわち基盤深さ分布と見ることができる。そこで、この図には基盤等深度線⁴⁾から読みとった基盤形状と既知のボーリングを合わせて記入している。測線中最も長い卓越周期は2.2~2.3秒であるので、これに相当する深さは概ね200mとなる。この深さは、既往の推定深度と同程度である。特に、JY011地点では既往のボーリングにおいて200mで基盤に達しており⁹⁾、その基盤着岩深さは推定結果と一致する。また、基盤等深度線から読みとった基盤形状と常時微動による推定地盤形状は誤差は大きいが全体的な傾向は合っている。

このことから、松山平野において H/V スペクトル比による推定法が有効であること、および堆積層の弾性波速度を仮定し地質基盤構造を推定する方法の適用性が確認できたことから、推定法のキャリブレーションができたと考えられる。

さて、前述のキャリブレーション(1998年)を1999年の観測でも行った。なお、1998年のJY測線は図-1の格子列番号25(断面25)に含まれる。図-8に既知の推

定基盤形状と1998年と1999年の観測結果による卓越周期とそれから推定される層厚の分布を示す。ボーリング位置における最深点での推定深さは、両年度の結果とも実測値に一致すること、その最深点を中心として両側に行くほど浅くなるという全体の傾向はおおよそ同じであると考えられる。しかし、最深点を除いて1998年度に比べて1999年度の測定値は周期が短く、そのため推定基盤深さが浅い傾向がある。結果として、推定される基盤の形状が相対的に急峻になる。

両年度の観測結果の違いは、測定地点の同一性(2万5千分の1の地図上で同一と見なせる精度)、卓越振動数の読みとり方の個人差、測定記録の違いなどがその原因として考えられ、今後検討していく必要があるが、傾向は両年度で同じであることが確認できたので、定性的にはキャリブレーションできたと考えられる。

5. 松山平野の南北方向の基盤深さ推定と考察

5.1 地盤の卓越周期の断面分布の特徴

図-9に松山平野西部の南北断面6,7,8,9,11,13,16,19,22,25の地盤の卓越周期の断面分布を示す。これらの断面図では図の右が北である。断面25は図-7、図-8で検討された断面である。また、各断面は断続的であるため各々0.5~2.0 km離れている。これら10の断面分布にはどの断面においても、ところどころ約1秒以上の周期の長い箇所が局所的に幾つか見られること、また、それらを除けば他は比較的卓越周期が短い範囲でばらついていることがわかる。そこで、これらの2つの特徴について考察する。

周期約1秒を上回るのは、隣り合う断面で明瞭に連続しているものや連続性が見られないものがある。周期の長いところは基盤が深いことを意味すると考えられるので、基盤深さと深い関係にあると考えられる河川と断層

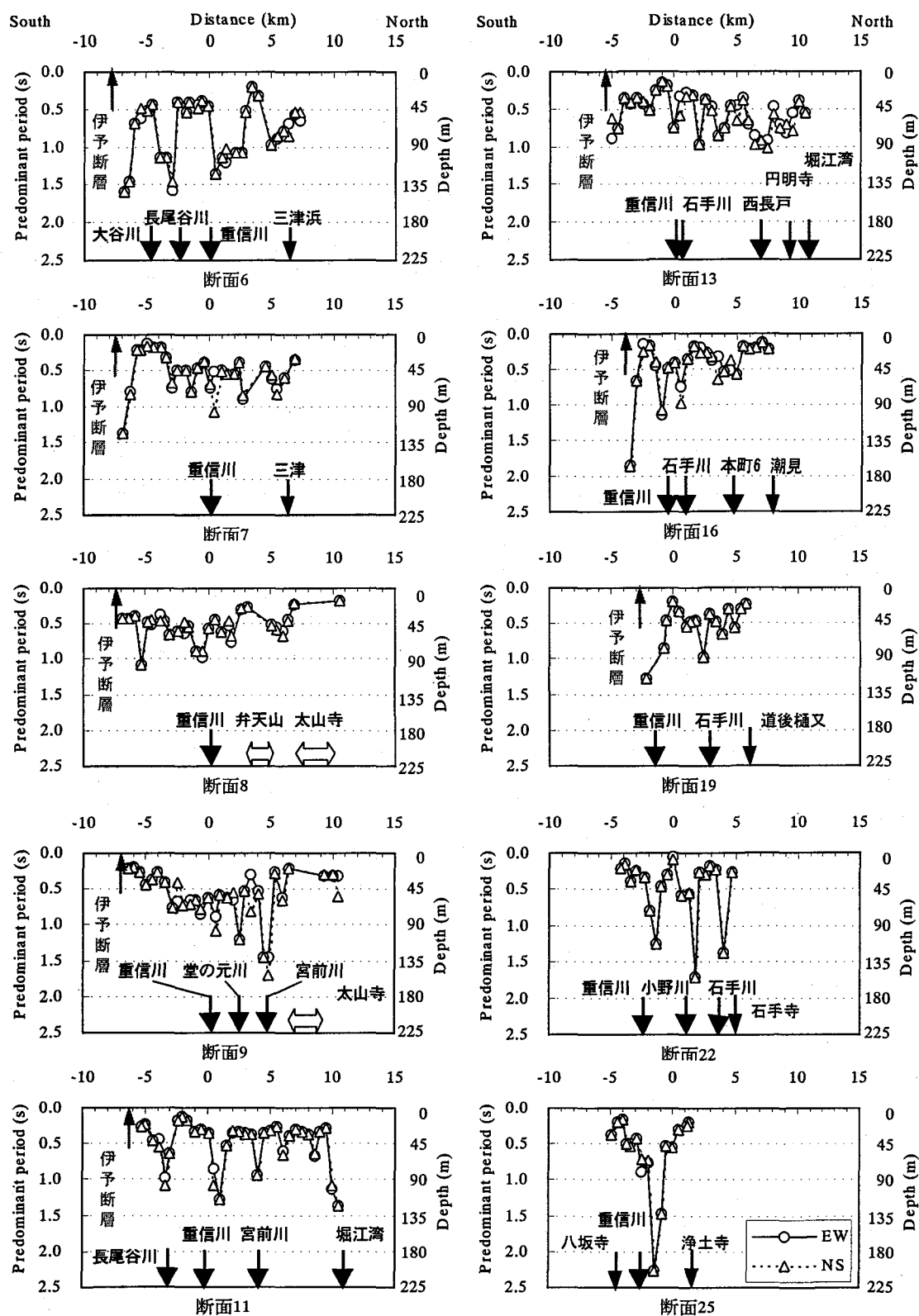


図-9 松山平野西部の10の南北断面における地盤の卓越周期の分布

(断面 6,7,8,9,11,13,16,19,22,25)

右の縦軸は堆積層 $V_s=360$ m/s として簡易に試算した基盤深さである

について検討するために、図に現在の河川の位置を下矢印で、伊予断層を上矢印で併せて記す。また、丘陵地や海についても併せて示す。断面の両端は海または山地・丘陵地である。主に伏在断層である重信川断層との関連を検討することも本研究の目的の一つであるが繁雑さを避けるためここでは記さない。

5.2 局所的の周期の長い場所と河川流路との関連

松山平野を流れる最大の河川である重信川との関連を見ると、断面7を除いて9つの南北断面で重信川の現流路から1km以内に1秒以上の卓越周期の長い観測点があることがわかる。そのような観測点は9断面の内、6断面は0.5km以内にあるが、断面11, 22, 25においては周期の長い地点は現河川より北に1~1.5kmずれている。

重信町誌³⁵⁾によれば古い時代の重信川の流路として、第1期800~550年前、第2期550~400年前、第3期400~300年前があるとしており、断面19より東側には第1期と第2期には現在の河川より北側と南側に2本の流路があったことや断面22より西はそれらの流路がほぼ真西に流れていたということを示す図を示している。前述のずれは流路の変遷を考慮すれば説明できるものと考えられる。また、300年前とは、正木(松前)城に転封となった加藤嘉明が重臣である足立半右衛門重信に伊予川(現在の重信川)を大改修させたことに対応している。このときに、森松から松前(断面22から断面5)の間の流路を廃し、北方に新流路を寄せ現在のように垣生村から海に注ぐようにした。

さて、断面6や断面11において松前町を流れる現在の長尾谷川の位置を地図に示している。これらの図では、周期の長い部分が現河川の位置に相当しているが、足立重信が改修する前に松前城の南を流れ豪雨ごとに氾濫していた伊予川の流路に相当すると考えられる。また、足立重信は新たに築く勝山城(現在の松山城)の城下町とその付近の平野を湯山川(現在の石手川)の氾濫から守るためにその流路を南に転じる改修を行った。文献³⁶⁾によれば、改修前は断面22から現在の位置からほぼ西に流れ、松山城の南の二番町を通り、吉田浜あたりで(断面13あたりで南にずれ、断面9のR, S付近で)海に注いでいた。断面13の2km付近、断面11の1km付近、断面9の堂の元川付近、断面6の0~3km付近の卓越周期の長い部分は改修前の石手川の流路に相当すると考えられる。

他に、詳細は述べないが、断面9, 11の宮前川や断面22の小野川などが流れる位置付近にも卓越周期の長いところがあり、かつての河川の流路に相当する可能性がある。

すなわち、平野内に局所的に卓越周期の長い地点が存在し、その位置は流路の変わっていない現在の河川も含めて古い河川流路に相当する。卓越周期の長いのは堆積層の厚いこと、すなわち基盤の深いところに相当し、そ

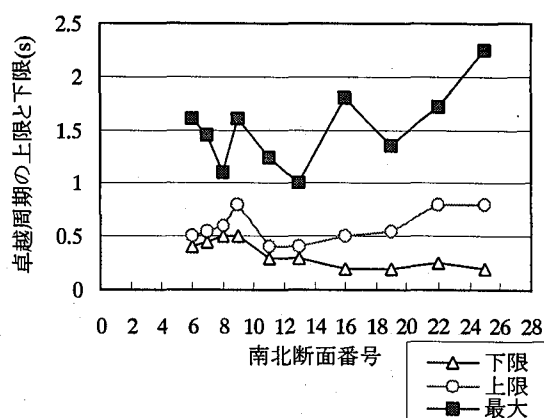


図-10 断面内の最大卓越周期および通常地域の卓越周期の上限・下限値

れらは河川作用によって形成されたと考えられる。

5.3 伊予断層近傍の平野の卓越周期

本論文で示した1999年度の微動観測点はすべて平野内であって、丘陵地・山地は含まれない。伊予断層は断面6から断面19の南端に位置する。この8断面の内、断面6, 7, 8, 13, 16, 19の6断面では伊予断層近傍の平野縁端部で0.5秒を越え、2秒未満の比較的長周期の卓越周期が確認できる。このうち、断面16と19は転流前の重信川の流路に相当することから、これに理由を求められるが、他の断面では特に浸食量の大きい河川の流路は考えにくい。また、断面6では伊予断層の北方1~2kmで周期の長い部分があるが、この位置は郡中、米湊に相当し、中央断層系の別の活断層に近い。したがって、伊予断層の運動の蓄積による地質の破碎や派生断層運動や陥没などによる軟質な土の堆積などが原因として想定される。原因の解明は今後の課題である。

5.4 全体的な卓越周期分布の傾向と特徴の考察

前節までに特に卓越周期の長い箇所について、河川流路と伊予断層の2つの観点から成因について考察した。河川流路との関連について確認できたが、河道周辺の氾濫土の連続的な堆積によって堆積層が構成されるとすると、上流や山麓部では扇状地性の砂礫の優勢な堆積層と考えられるので、深さの検証された中流部の最深部200mでの平均的なせん断波速度360m/sを適用できるのは、中流部最深部にある程度限定されると考えられる。上流や山麓部ではVsはさらに大きい考えられる。そうすると、基盤深さとしては現在推定されるものよりも深くなる。

伊予灘に面する旧海岸線にはほぼ相当する断面6では、卓越周期の長い地点が多い。古い石手川が海に流れる3km付近から南に3区間の長周期部分がある。重信川河口付近は古いボーリングで160mで着岩しているし、松前町でも前述のように178mで着岩している。これらは

それぞれ、卓越周期分布図の 3~0km の部分と-2.5~
-4.5km の部分に相当すると考えられる。それぞれ 130~
140m と推定されるので、2 割小さく推定していることにな
る。

局所的に長い卓越周期の内、断面で最も長いものは断
面 25 の 2.25 秒であり、愛媛県水理地質図の推定基盤の最
も深い部分がこの地点であることと整合している。

さて、局所的な周期の長い部分を除くと、他の部分は
比較的狭い範囲の卓越周期付近でばらついている。図で
3km 以下の部分が、松山平野の二等辺三角形の部分に対
応し、3km 以上には、断面 24~16 で石手川の扇状地性
の松山旧市街地が、断面 15~10 で堀江の地溝帯がある。

平野の卓越周期の特徴を捉えるために、局所的に存在
する卓越周期の長い地点の内最大のもの（最も深い場所
に相当する）、それ以外の地点で断面でばらつく上限下限
の値の分布を見てみる。図-10 に卓越周期の最大値およ
び通常値の上下限値の分布を示す。松山平野の二等辺三
角形の部分では、0.2~0.8 秒に分布するが多くは 0.3~0.6
秒に分布する。したがって、松山平野は概して 2 種地盤
（卓越周期 0.2~0.6 秒）であり、砂礫の卓越する良好な
地盤であると言える。しかし、局地的にせよ旧河川流路
に相当する地盤では、卓越周期が 0.6~2.2 秒であり、第
3 種地盤（0.6 秒以上）で耐震性からは良くない地盤であ
ると言えよう。

断面 6 の三津、断面 7 の三津浜では、0.6~1.0 秒であ
り、松山平野の平均的な周期から見て揺れやすいと言え
よう。堀江の地溝帯に相当する部分では、断面 11 の堀江
湾付近の周期 1 秒以上の部分は久万川河口に相当する場
所でもある。断面 13 や断面 16 では西長戸付近や本町 6
丁目付近はやや周期が長い。

6. 結 論

松山平野の概略の地下構造を推定することを目的とし
て常時微動観測を行い、水平動に対する上下動のフーリ
エスペクトルの比を用いて地盤の卓越周期を検出するこ
ととした。得られた結論は以下の通り。

- (1) 基盤構造のわかっている南北 1 断面について測定を
行い推定法の適用性を検討した結果、ボーリング地
点近傍の観測点での推定基盤深度は着岩基盤深度
一致し、また、地質学的に推定された基盤形状と常
時微動による推定地盤形状は誤差は大きいが全体
的な傾向は合った。このことから、松山平野におい
て H/V スペクトルによる推定法の有効性が確認でき
た。
- (2) 2 年度にわたり検定したところ、着岩ボーリング位
置における最深点での推定深さは実測値に一致し、
誤差は大きいものの、全体の傾向はおおよそ同じで
あり再現性の程度が確認できた。

- (3) 松山平野西側ではどの断面においても、ところど
ろ約 1 秒以上の周期の長い箇所が局所的に幾つか見
られ、また、それらを除けば他は比較的卓越周期が
短い範囲でばらついていた。
- (4) 平野内の局所的に存在する卓越周期の長い地点の位
置は、古い河川流路に相当することから、それらは
浸食・開析・氾濫・堆積という河川作用によって形
成されたと考えられる。
- (5) 伊予断層近傍の平野縁端部で、0.5 秒を越え 2 秒未
満の比較的長周期の卓越周期が確認でき、断層運動
に起因するものと示唆される。
- (6) 松山平野は、概して第 2 種地盤であり、砂礫の卓越
する良好な地盤であるが、局地的に旧河川流路に相
当する地盤は、卓越周期の長い第 3 種地盤であり耐
震性からは好ましくないと言える。

以上のように、松山平野の広域にわたる常時微動観測
により平野全体の面的な卓越周期分布や推定される 3 次
元基盤構造の特徴の一端を明らかにすることができた。

今後は、平野全域の観測を継続し等密度の推定を行う
こと、PS 検層などの弾性波探査や微動アレー観測などに
より地下構造の詳細を推定して、推定品質の向上を課題
としたい。

謝 辞

愛媛大学教育学部教授 高橋治郎先生には、松山平野の
地質について教えていただいた。1998 年度の研究は武内
良方君（現在、熊谷組）の卒業研究として実施した。ま
た、常時微動の測定では、研究室に 1998 年と 1999 年在
籍したほぼ全員の学生諸氏の協力を得た。最後に記して
謝意を表します。

参考文献

- 1) 松山市防災会議：松山市地域防災計画 震災対策編
（平成 9 年度修正）、271p., 1997.
- 2) 高橋 治郎：松山平野及び周辺部の活断層、愛媛大
学教育学部紀要、第Ⅲ部自然科学、Vol. 16, No. 1, pp.
1-12, 1995.
- 3) 建設省四国地方建設局松山工事事務所：重信川低水
流量調査報告書、97p., 1975.
- 4) 中国四国農政局計画部：愛媛県水理地質図、1 葉、同
説明書、56p., 1980.
- 5) 鹿島 愛彦、篠原 俊憲：四国、松山平野の地質環境
フレームワーク、愛媛大学農学部紀要、Vol. 41, No. 1,
pp. 109-117, 1997.
- 6) 堀家 正則：微動の位相速度及び伝達関数の推定、
地震 第 2 輯、第 33 巻、pp. 425-442, 1980.
- 7) 堀家 正則：微動の位相速度の推定、地震 第 2 輯、
第 34 巻、pp. 535-550, 1981.
- 8) 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集, 第 439 号, pp. 81-87, 1992. 3.
- 9) 山中 浩明, 武村 雅之, 石田 寛, 池浦 友則, 野澤 貴, 佐々木 透, 丹羽 正徳: 首都圏西部におけるやや長周期微動のアレイ観測と S 波速度構造の推定, 地震, 第 2 輯, 第 47 巻, pp.163-172, 1994.
 - 10) 時松 孝次, 新井 洋, 酒井 潤也: 短周期微動に含まれる表面波の性質と地盤構造の関係, 日本建築学会構造系論文集, 第 472 号, pp. 47-55, 1995.6.
 - 11) 盛川 仁, 澤田 純男, 土岐 憲三, 中島 大輔: 西宮市北部におけるやや長周期微動アレイ観測記録に基づく深部地盤構造の推定, 土木学会論文集, No.570/I-40, pp.325-330, 1997.7.
 - 12) 石田 寛, 野澤 貴, 古屋 伸二, 加藤 研一, 高井 剛, 丹羽 正徳: やや長周期微動に基づく深層地下構造推定手法の神戸市東部への適用, 日本建築学会構造系論文集, 第 512 号, pp. 47-52, 1998.10.
 - 13) 野越三雄, 五十嵐亨: 微動の振幅特性 (その 2), 地震第 2 輯, 第 24 巻, pp.26-40, 1971.
 - 14) 塩野計司, 太田裕, 工藤一嘉: やや長周期の微動観測と地震工学への適用 (6) - 微動に含まれる Rayleigh 波成分 -, 地震第 2 輯, 第 32 巻, pp. 115-124, 1979.
 - 15) 中村 豊, 上野 真: 地表面震動の上下成分と水平成分を利用した表層地盤特性推定の試み, 第 7 回日本地震工学シンポジウム講演集, pp. 265-270, 1986.
 - 16) 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.
 - 17) 時松 孝次, 仲條 有, 田村 修次: 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, pp. 11-18, 1994. 3.
 - 18) 大町 達夫, 紺野 克昭, 遠藤 達也, 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) 若松 邦夫, 安井 譲: 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, 第 471 号, pp. 61-70, 1995.5.
 - 20) 時松 孝次, 田村 修次: 3 次元多層地盤における地表面鉛直点加振の応答変位に対する表面波と実体波の寄与, 日本建築学会構造系論文集, 第 476 号, pp. 95-101, 1995.
 - 21) 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適用例, 土木学会論文集, No.525/I-33, pp.247-259, 1995.10.
 - 22) 時松 孝次, 田村 修次: 3 次元多層地盤における地表面水平点加振の応答変位に対する表面波と実体波の寄与, 日本建築学会構造系論文集, 第 481 号, pp. 47-54, 1996.
 - 23) 時松 孝次, 新井 洋, 浅香 美治: 微動観測から推定した神戸市住吉地区の深部 S 波速度構造と地震動特性, 日本建築学会構造系論文集, 第 491 号, pp. 37-45, 1997.
 - 24) 石田 寛, 野澤 貴, 古屋 伸二, 高井 剛, 加藤 研一, 丹羽 正徳: 神戸市市街地直下における基盤岩深度分布の推定 - やや長周期微動の水平上下スペクトル比に基づく評価 -, 日本建築学会構造系論文集, 第 485 号, pp. 63-72, 1996.7.
 - 25) Konno, K. and Ohmachi, T.: Ground-motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 88, No.1, pp.228-241, 1998.2.
 - 26) 時松 孝次, 新井 洋: レイリー波とラブ波の振幅比が微動の水平上下スペクトル比に与える影響, 日本建築学会構造系論文集, 第 511 号, pp. 69-75, 1998.9.
 - 27) 盛川 仁, 土岐 憲三, 尾上 謙介, 赤松 純平, 竹内 徹: 脈動の H/V スペクトル比を用いた奈良盆地中央部の基盤岩構造の推定, 第 10 回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.1269-1272, 1998.11.
 - 28) 科学技術庁防災科学技術研究所: 強震ネットワーク (Kyoshin Net : K-NET) ホームページ, <http://www.k-net.bosai.go.jp/>
 - 29) 森 伸一郎, 武内 良方: 常時微動測定による松山平野の地盤振動特性と基盤構造に関する研究, 土木学会四国支部第 5 回技術研究発表会講演概要集, pp. 68-69, 1999.5.
 - 30) 森 伸一郎: 微動の H/V スペクトル比による松山平野の地下構造推定の試み, 1999 年地球惑星科学関連学会合同大会予稿集 CD-ROM, 1999.6.
 - 31) 森 伸一郎, 武内 良方: 常時微動の H/V スペクトル比による松山平野の基盤構造の推定の試み, 第 34 回地盤工学研究発表会講演集, pp. 1909-1910, 1999.7.
 - 32) 森 伸一郎, 武内 良方: 常時微動測定による松山平野の基盤構造の推定, 第 18 回日本自然災害学会年次学術講演会講演概要集, pp. 43-44, 1999.10.
 - 33) 森 伸一郎: 常時微動の H/V スペクトル比による松山平野の基盤構造の推定の試み, 愛媛大学工学部紀要, 第 19 巻, 187-191, 2000.2.
 - 34) 重信町: 第 6 章 重信川, 第 1 部 自然環境, 重信町誌, 1980.
 - 35) 松山城編集委員会: 松山城, 増補第 5 版, 松山市, 342p., 1994.

(2000 年 9 月 14 日受付)