

SPAC法の一般化とCCA法の開発について On the generalization of the SPAC method and the development of a CCA method

長 郁夫^{1*}
CHO, Ikuo^{1*}

¹産総研

¹National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

はじめに

微動アレイ探査法は常時微動のアレイ観測で得られるレーリー波位相速度の分散データに基づく地下構造推定法である。いわゆる表面波探査のように人工振源を必要とせず、数m程度のごく浅部から数kmまでの大深度に至るまで手軽に探査できる。位相速度の解析法には大別して Spatial Autocorrelation Method (SPAC法) [Aki, 1957] と FK法 [Capon, 1969] がある。FK法では任意形状のアレイが利用されるが、SPAC法は標準的には「円形アレイ」に限定される [Okada, 2003]。しかし地震計数や解析可能波長帯域を考慮した総合的な解析効率では FK法よりも優れる [Okada, 2003]。さらに SPAC法には本来2点アレイを適用できる可能性があり [Aki, 1957]、この10年間にそれが再評価されてきた。例えば、Chavez-Garcia et al. [2005] や Extrom et al. [2009] は、長時間データを利用すれば2点 SPAC法を適用可能なことを実証している。このような背景により、近年は SPAC法のほうが良く使われるだけでなく、適用性の理論検討や様々な拡張がなされている。

SPAC法の一般化とCCA法の開発

著者らの場合、Henstridge[1979]に基づいて Akiの SPAC法の理論を一般化した [Cho et al., 2006]。すなわち定常確率過程論に基づいて3成分円形アレイの解析法を一般的に記述した。この理論は、レーリー波の位相速度や楕円率、レーリー波とラブ波のパワー比等を効果的に抽出するための解析手法を生み出すための基礎となった。ラブ波の位相速度をレーリー波と完全に分離して抽出する方法を生み出すための基礎となった。2点 SPAC法(2点干渉法)の適用条件や最適な観測時間を厳密に理論検討するための基礎となった。

Centerless Circular Array (CCA)法は、この一般理論に基づくレーリー波位相速度解析ツールの1つである。不規則に配置した3個の地震計で構成されるアレイへの適用性を最大の特徴とする。また、長波長の解析性能に優れるという特徴もある。解析性能を低下させるファクターとしての SN比の評価法やノイズの補正法も検討している。

本発表の前半では微動アレイ探査の概略に触れた上で、以上の経緯を述べる。

浅部探査のための極小アレイ解析の開発

後半は、CCA法を基礎とする「極小アレイ解析」について報告する。極小アレイ解析とは、ごく小さいアレイ(半径1m以下)を用いた10~15分程度の微動観測で地表から数10m、時として100mを超える深さに対応する分散データを取得するための方法である。解析結果の品質管理のための指標も得られる。この1年は、極小アレイ解析の実用化のために次の課題に取り組んだ。すなわち、(i) 微動強度が低い場合十分な SN比が得られず目的深度に対応する長波長を解析できないケースがあるが、一般に解析結果の品質が悪く信頼性が疑わしい場合にどう対応すれば良いか? (ii) 速度構造推定は一般に非一意であり、その対応として先験情報が必要となる。しかし変化に富む浅部ではごく近接地点の情報が必要となるので結局はデータがない場合が多い。諸々の情報を補間して先見的なモデルを作るのは相当骨が折れる作業であり、微動探査の「簡易性」というメリットが損なわれる。地下構造推定まで含めた探査効率の追求のためにはどうすれば良いか?

極小アレイの観測例を増やしつつこの問題の対処策を検討した結果、(i)については、補足的に小半径(半径数m~10m程度)の3点不規則アレイを追加すればそれほど観測効率を下げずに対処できることが分かってきた。(ii)については、分散曲線に簡単な変換式を適用して S波速度の深度分布に変換する昔ながらの Simple Profiling Method (SPM) [e. g., Heukelom and Foster, 1960] で客観的なイメージを得、引き続き簡単な処理— H/V 深度変換 [長他, 2013] および Simplified Inversion Method (SIM) [Pelekis and Athanasopoulos, 2011] — で分解能を向上することにより、かなりの効果を上げられることが分かった。

上記の解析プロセスを自動化できれば、微動探査の最大のメリット「いつでもどこでもデータを取得可能」に「誰でも、大量でも解析可能」が加わり、微動探査分野でも「ビッグデータ」に対応できるようになる。現在、データ解析区間の自動判別に加え、精度向上の余地はあるが分散データおよび H/V 深度変換の自動読み取りアルゴリズムの開発が終了したところである(長他, 本大会; 先名他, 本大会)。こうして得られた極小アレイ解析で S波速度2次元断面を半自動で描き出す解析ツールは、公開中の解析ソフト BIDO (<https://staff.aist.go.jp/ikuo-chou/bidodl.html>) の拡張版として公開する予定である。

謝辞 前半の成果の多くは多田卓博士、篠崎祐三教授との共同研究で得られた。後半の成果の多くは先名重樹博士および防災科学技術研究所および微動の会有志の方々との共同研究で得られた。

SSS35-01

会場:502

時間:5月2日 14:15-14:35

キーワード: 微動, 速度構造, 表面波, 位相速度, 探査, アレイ

Keywords: Microtremor, velocity structure, surface waves, phase velocity, exploration method, array

微動アレー観測による Rayleigh 波と Love 波の検出 Detection of Rayleigh wave and Love wave detection from microtremor array measurements

大堀 道広^{1*}; チタク セチキン²; 久保 篤規³; 大石 佑輔³; 高橋 宏和³; 山品 匡史³
OHORI, Michihiro^{1*}; CITAK, Seckin²; KUBO, Atsuki³; OISHI, Yusuke³; TAKAHASHI, Hirokazu³; YAMASHINA, Tadashi³

¹ 福井大学附属国際原子力工学研究所, ² 海洋研究開発機構地震津波・防災研究プロジェクト, ³ 高知大学理学部
¹University of Fukui, ²Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ³Kochi University

地震動予測に必要な S 波速度構造の探査法として、微動アレー観測はもっとも実用的な方法の一つである。すでに多くの研究事例 [例えば堀家 (1985)] に見られるように、S 波速度構造の推定には、多くの研究事例では主に上下動成分が利用されており、これより検出される Rayleigh 波の分散性が用いられている。これに対して、水平成分より Love 波を検出する試みは非常に少ない [例えば山本 (2000)]。これには、微動の水平成分には Love 波と Rayleigh 波の両方が含まれており、これらを分離するのが難しいことも一因と考えられる。

微動アレー観測記録の代表的な解析法として、FK 法 [Capon(1969)] と SPAC 法 [Aki(1957)] があげられる。いずれの手法も Rayleigh 波の検出に用いられるが、FK 法は斎藤 (2007) により、SPAC 法は岡田・松島 (1990) や山本 (2000) により、それぞれ拡張され、Love 波の検出も可能になっている。これらの手法の適用性は、今後、多くの場所で確認される必要がある。著者らの既往の研究 [大堀ほか (2013)] では、高知市の高須地区において 2010 年 11 月に微動アレー観測を実施し、FK 法により Rayleigh 波と Love 波の検出に成功している。この時、8 台の地震計を用いて、半径 50m および 100m の円形アレーを同時観測し、FK 法により 1.2~3.8Hz の範囲の Rayleigh 波と Love 波を検出している。

対象地点における微動の伝播特性の理解を深め、より高い周波数 (約 6Hz) までの位相速度を得るために、著者らは 2013 年 3 月に同じ場所で 4 台の地震計を用いて、半径 50m, 25m, 12.5m の微動アレー観測を順次実施したので報告する。位相速度の推定には、上下動成分に対しては Capon(1969) の方法を、水平成分については斎藤 (2007) の方法を、それぞれ用いている。さらに、SPAC 法 [山本 (2000)] による位相速度の算出を行い、FK 法による結果との比較も行っている。なお、SPAC 法より得られた微動の水平成分における Love 波のエネルギー比率は、1.4~6Hz にかけて概ね 40~70% の範囲に分布しており、既往の研究事例と調和的な結果が得られている。

本研究にあたり、機動式地震計を快くご貸与頂いた防災科学技術研究所藤原広行氏、先名重樹氏に感謝申し上げます。本研究の一部は科学研究費補助基金・基盤研究 (C) 課題番号 24540464 (研究代表者: 大堀道広)、おなじく基盤研究 (C) 課題番号 25420479 (研究代表者: 小嶋啓介) の支援を受けたことを記します。

キーワード: 微動アレー観測, FK 法, SPAC 法, Rayleigh 波, Love 波

Keywords: microtremor array measurements, FK spectral method, SPAC method, Rayleigh-wave, Love-wave

三成分アレイを用いた微動の構成成分の推定：遠野アレイにおける結果 Estimating composition of ambient noise from three-component records at Tono array

高木 涼太^{1*}; 中原 恒²; 河野 俊夫¹; 岡田 知己¹
TAKAGI, Ryota^{1*}; NAKAHARA, Hisashi²; KONO, Toshio¹; OKADA, Tomomi¹

¹ 東北大・理・予知セ, ² 東北大・理・地球物理

¹RCPEV, Graduate School of Sci., Tohoku Univ., ²Geophysics, Graduate School of Sci., Tohoku Univ.

Ambient noise methods have become common tools to explore and monitor subsurface structure. However, effective uses of ambient noise should stand on the knowledge of a nature of ambient noise. In order to reveal the composition of ambient noise quantitatively, we extend the SPAC method to body wave incidence. Applying the extended SPAC method to the observation at Tono array, northeast Japan, we shows a good agreement between the theoretical cross spectra and the observed cross spectra. By fitting the theoretical cross spectra to the observed cross spectra, we estimated the composition ratio of Rayleigh, Love, and P waves. The characteristics of the composition ratio show a significant change at 1 Hz. While the P wave composition in total power is 5-15% and the lowest one below 1 Hz, the P wave composition suddenly increases above 1 Hz and reaches 50% and the highest one in those of the three wave modes. The change at 1 Hz is attributed to attenuation of high-frequency surface waves because the decay rate of the absolute value of power spectra of surface waves gets steeper around 1 Hz as compared with the constant decay of P wave. We also examine the temporal variation of the composition of ambient noise. Whereas power spectrum of each mode shows long-term and short-term temporal variations coincident with offshore significant wave height, the ratio between power spectra varies little with time. The constant composition ratio suggests that the mechanism and the source-receiver distance are stable in time. Accordingly, near coastal region is a possible region of the dominant source of the observed ambient noise. For applications of ambient noise, we should take account of the composition of ambient noise.

キーワード: 常時微動, SPAC, 三成分アレイ観測

Keywords: ambient noise, SPAC, three-component array observation

Toward Earthquake Ground Motion Prediction using the Onshore-Offshore Ambient Seismic Field in Subduction Zones

Toward Earthquake Ground Motion Prediction using the Onshore-Offshore Ambient Seismic Field in Subduction Zones

VIENS, Loic^{1*} ; MIYAKE, Hiroe¹ ; KOKETSU, Kazuki¹
VIENS, Loic^{1*} ; MIYAKE, Hiroe¹ ; KOKETSU, Kazuki¹

¹Earthquake Research Institute, University of Tokyo

¹Earthquake Research Institute, University of Tokyo

Ground motion prediction is critical to evaluate the seismic hazard specially in high seismicity areas as Japan. A source of particular concern is the complex geological structures as sedimentary basins which can trap and amplify seismic waves. It has been proved by Prieto and Beroza (2008) that reliable phase and amplitude of the impulse response functions can be extracted by deconvolution of the ambient seismic field recorded by two on-land stations without any pre-processing. This approach has the great advantage to predict accurate ground motion of moderate earthquakes at periods longer than 4 s without the need of any external information about the velocity structure. However, this method allows only to recover relative, rather than absolute, amplitudes. To retrieve the corresponding Green's functions, impulse response amplitudes need to be calibrated using records of an earthquake which happened close to the "virtual" source. Moreover, as surface-to-surface Green's functions are extracted, some mismatches are observed between Green's functions and the earthquake records. This feature is due to the fact that depth and focal mechanism of the event are not taken into account. Despite of these disadvantages, accuracy of the predicted ground motion is high and such long-period ground motion investigation is critical to carried out seismic hazard assessment for high-rise buildings, bridges, or oil tank having long-period resonance. In this study, we use this technique in subduction zones to extract vertical-to-vertical component of the Green's functions between seismic stations located on the ocean bottom and on-land Hi-net stations. The target region is located in the Tokai/Tonankai areas where two submarine cable-based sea-bottom seismographic observation systems have been deployed by the Japan Meteorological Agency (JMA). We use one month of noisy data recorded in January 2013 to compute the Green's functions. The choice of these data is motivated by a strong signal-to-noise ratio of the causal part of the Green's functions during this period. We validate this approach by comparing computed Green's functions with offshore moderate earthquake ($M_w \sim 5$) records in the Nobi sedimentary basin where the Nagoya city is located. As megathrust earthquakes are expected in this area, we extrapolate our results to predict magnitude $M_w \sim 6$ or larger earthquake ground motions using the scaling law of seismic spectrum developed by Aki (1967). These results are finally compared to long-period ground motion prediction equations to evaluate their validity.

キーワード: Ground motion Prediction, Ambient seismic field, Subduction zones, Low frequency, Deconvolution
Keywords: Ground motion Prediction, Ambient seismic field, Subduction zones, Low frequency, Deconvolution

微動単点測定による地盤構造推定に関するレビューとその適用例 Review of study on microtremors and application for subsurface structure modeling

鈴木 晴彦^{1*}
SUZUKI, Haruhiko^{1*}

¹ 応用地質
¹ OYO

微動の研究は、金井の一連の研究 (Kanai et al., 1954) に端を発し、微動 (短周期) の卓越周期や振幅スペクトルと地盤構造の関連性が議論された。その後、卓越周期が必ずしも地下構造と対応しない場合があるため、スペクトル比の利用が考案された。2 地点間の微動のスペクトル比を取り、基準点に対するスペクトル比を求め、微動源と伝播経路の影響を取り除く試みが行われた。微動のスペクトル比と地震動のスペクトル比の対応などについての研究が行われている (例えば、瀬尾・佐間野、1993)。

さらに、1980年代になると微動の水平動成分と上下動成分のスペクトル比を推定し、地盤構造の推定が行われるようになった。Arai and Tokimatsu(2005) は、微動を表面波の基本モードだけでなく高次モードの重ね合わせであるとして、表面波の高次モードを考慮した理論 H/V スペクトル比を示し、逆解析による S 波速度構造の推定が行われるようになった。これは、微動の短周期成分の振幅が明瞭な日変化を示して (山中ほか、1991) いること、長周期成分の振幅が波浪や低気圧により生成 (鏡味ほか、1983) されることより、微動の振動源は主に地表に存在すると考えられ、Arai and Tokimatsu(2005) の仮定を支持している。一方、中村 (1988) では、基本的に微動の H/V スペクトル比は SH 波の重複反射による増幅特性を示しているとしている。地盤の 1 次固有周波数付近では SH 波の重複反射による増幅特性を示し、1 次固有振動数の 2 倍付近の周波数帯域は、Rayleigh 波によって乱された特性を示している (中村、2008)。時松・田村 (1995) による、地表面鉛直加振の数値シミュレーションでは、1 次固有周波数付近は、振源の十分遠方でも実体波が卓越するとしており、微動の H/V スペクトル比は地盤の 1 次固有周期付近では実体波の水平動と上下動の比を示している可能性がある。Sanchez-Sesma et al.(2010) では、拡散波動場を仮定した表面波および実体波を考慮した理論 H/V スペクトル比が提案されている。

微動の H/V スペクトル比は、地震災害危険度評価の一環としてサイスミックマイクロゾーニングに活用されている。若松ほか (1998) では、大阪平野を対象として実施した短周期微動観測から、微動の H/V スペクトル比に基づく大阪平野のサイスミックマイクロゾーニングを行っている。また、Senna et al.(2013) では、短周期帯域の微動 H/V スペクトル比に加え、小規模微動アレイデータ、地震動の長周期帯域のラディアル成分と上下動成分のスペクトル比のデータを用いて、地下数 m から数 km までの浅部深部統合地下構造モデルの構築が行われ、強震動計算のモデルとして活用されている。

参考文献：

Arai and Tokimatsu(2005):Bull. Seism. Soc. Am., 95, 1766-1778. ; Kanai et al. (1954):Bull. Earthq. Res. Inst.,32,199-209. ; 鏡味ほか (1983):地震 2, 36, 609-618. ; 中村 (2008) : 物理探査学会第 3 回地震防災シンポジウム予稿集 ; 瀬尾・佐間野 (1993) : 文部省科学研究総合研究 (A) 研究成果報告,198-200. ; Senna et al.(2013):Journal Disaster Research,889-901.; 時松・田村 (1995) : 日本建築学会構造系論文集, 493, 49-55. ; 山中ほか (1991) : 1991 年度春季地震学会講演予稿集, No.1, 107. ; 若松ほか (1998) : 第 10 回日本地震工学シンポジウム論文集, 1077-1082.

キーワード: 微動, スペクトル比, S 波速度構造モデル
Keywords: Microtremors, Spectral ratio, S-wave structural modeling

液状化地域の「i 微動」的解釈：浦安地域におけるケーススタディ（2） Geological Interpretation of a Liquefied Area by 'i-Bido': A Case Study in Urayasu City, Japan (2)

佐藤 伸司^{1*}; 東 将士²; 樋口 茂生³; 稲田 晃³; 伊藤 彰秀⁴; 岩本 広志⁵; 上加 世田 聡⁶; 川崎 健一⁷; 楠 恵子⁸; 品田 正一²; 末永 和幸⁹; 渡邊 拓美³; 先名 重樹¹⁰; 藤原 広行¹⁰
SATO, Shinji^{1*}; HIGASHI, Masashi²; HIGUCHI, Shigeo³; INADA, Akira³; ITO, Akihito⁴; IWAMOTO, Hiroshi⁵; KAMIKASEDA, Satoshi⁶; KAWASAKI, Kenichi⁷; KUSUNOKI, Keiko⁸; SHINADA, Shoichi²; SUENAGA, Kazuyuki⁹; WATANABE, Takumi³; SENNA, Shigeki¹⁰; FUJIWARA, Hiroyuki¹⁰

¹ 千城台高校, ² 石油資源開発, ³ 無, ⁴ 千葉北高校, ⁵ 関東天然瓦斯開発, ⁶ NTC コンサルタンツ (株), ⁷ 千葉西高校, ⁸ 浦安高校, ⁹ (株) 地球システム科学, ¹⁰ 防災科学技術研究所

¹ Chishirodai high school, ² JAPEX, ³ No affiliation, ⁴ Chiba-kita High school, ⁵ Kanto Natural Gas Development Co., Ltd, ⁶ NTC Consultants Co., Ltd., ⁷ Chiba-nishi High school, ⁸ Urayasu high school, ⁹ Earth System Science Co., Ltd., ¹⁰ NIED

2011.3.11 東北地方太平洋沖地震で浦安高校に2本の長大地割れ(①, ②)が発生した。この地域は、埋立プロセスから《A》海面下土地、《B》海底浚渫土砂による埋立地《C》護岸周辺地帯という3地区に分類可能で、前述の地割れ①は《A》地区と《B》地区の境界に、②地割れは《B》地区と《C》地区の境界に発生したと考えられる(岩本ほか, 2014)。

これらのことを踏まえ、地下地質の物性の把握とこれまでの線的な把握を面的に拡張することを目的として、《A》《B》《C》の3地区に沖積地を加えた4地区で常時微動観測を行った。具体的には、微動観測の後、得られたH/Vスペクトルと地下地質との比較および解析を行った。常時微動観測では防災科学技術研究所のJU310微動計を用い、その計測、解析には同研究所の「i 微動」システム(先名ほか, 2011)を用いた。

この結果、明らかになったのは次のとおりである。(1)《A》《B》《C》全ての地区で1Hz強にピークが認められる。これは洪積層と沖積層のインピーダンス比によるピークと考えられ、沖積地および埋立地に共通する。(2)《B》地区(第1期埋立地)では、4-5Hz前後にピークが認められ、典型的な埋立地の特徴を示す。ボーリング調査の結果を踏まえると、《B》地区に特徴的に分布する(Nd値0の海底浚渫土砂による)埋立地シルト層と沖積層とのインピーダンス比が関係している点が重要である。(3)《A》《C》地区では、4-5Hz前後のピークは見られないか、不明瞭である場合が多く、このピークを生じる両者のコントラストは認められない。ただ《C》では、護岸周辺のNd値の高い物質の関与が推定される。一方、①および②地割れを挟む両側では、たった数メートルの距離でも、この4-5Hz前後のピークが一方では認められ、他方では認められない。

以上から、「i 微動」による解析結果は、岩本ほか(2014)による埋立層の地質単元区分が地割れ生成史を解く上で不可欠である点を、物理的な側面から裏づけた。このように、常時微動観測は、ボーリング結果との併用により地下地質の物性把握と面的な拡張に非常に有用である。今後防災分野への利用に向けた積極的な展開を考えたい。

謝辞 中山俊雄氏(NIED客員研究員)には、i 微動システムの利用にあたって大変お世話になった。ここに感謝申し上げる。

文献

岩本広志, 東将士, 樋口茂生, 稲田晃, 伊藤彰秀, 上加世田聡, 川崎健一, 楠恵子, 佐藤伸司, 品田正一, 末永和幸, 渡邊拓美(2014) 液状化地域の現世地質学的解釈：浦安地域におけるケーススタディ(1)。地球惑星科学連合2014年大会。

先名重樹, 東宏樹, 武留井優子, 藤原広行(2011) 微動探査観測システム「i 微動」等の開発。物理探査学会第124回学術講演会論文集, 346-348。

キーワード: 液状化, 地割れ, 常時微動, i 微動, 浦安, 埋立地

Keywords: liquefaction, crack, micro tremor, i-Bido, Urayasu, reclaimed land

SSS35-06

会場:502

時間:5月2日 16:15-16:30

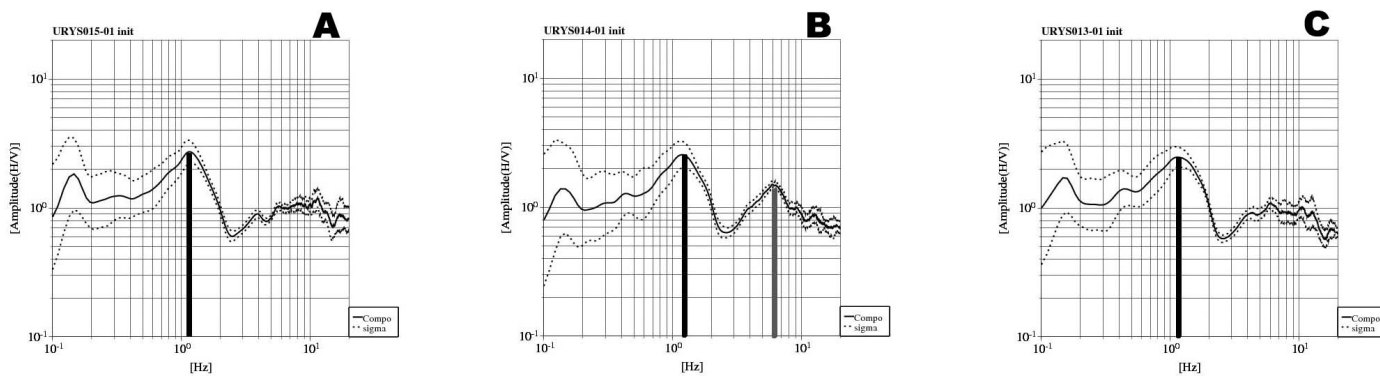


図1 A, B, C各地域におけるH/Vスペクトル

地震動と微動のH/Vスペクトル比の違いと拡散場動場に基づく理論的解釈 H/V Spectral Ratios for Both Microtremors and Earthquake Motions and Interpretation based the Diffuse Field Theory

川瀬 博^{1*}; 松島 信一¹
KAWASE, Hiroshi^{1*}; MATSUSHIMA, Shinichi¹

¹ 京都大学防災研究所
¹ DPRI, Kyoto University

微動データのH/Vスペクトル比(HVR)は簡便であることから、多方面で数多く利用され、その適用性検討の過程で地震動データのHVRも最近多く解析されている。一方、地震記録においては、古くから遠地記録の軸方向Radial成分と上下動の比(RVR)が地殻構造を反映しているものとして活用され、今日ではレシーバー関数法として一次元的地殻構造のP-SV波場のレスポンスと対応させることにより、標準的に地殻構造逆算に用いられている。しかしながら、その短周期域については同様に評価手法が確立され活用されているとは言い難い状況にある。

微動HVRを用いて地盤構造を推定する手法ではこれまで水平成層構造におけるレーリー波の励起として解釈されることが多く、その性質を利用して上下動成分を用いたアレー微動解析でレーリー波の位相速度と対応付けられてきた。一方実体波が主体の地震動HVRにおいては水平成層構造への斜め入射のP-SV波場でモデル化できるはずだが、実際には微動HVRとほぼ類似のスペクトル形状となることが多く、それは盆地生成表面波のためと解釈されてきた。浅部地盤のインピーダンス比が大きい場合、HVRのピーク振動数と表層S波増幅のピーク振動数、および表面波のピーク振動数が対応することはよく知られており、これまで理論と観測とのスペクトル形状の一般的不一致から、微動および地震動のHVRの利用においてはその適用限界を弁えるべきものと解釈されてきた。

しかし最近、拡散理論に基づき、HVRは上下加振グリーン関数の虚部に対する水平加振グリーン関数の虚部の比になることを明らかにした。この解釈では微動の場合は点加振解に、地震動の場合は平面波入射の解でそれぞれ水平方向と上下方向に応答を求めればよい。

本稿ではこれまで観測してきた地震動のS波部分および同一地点の微動に対して水平上下スペクトル比を求め、それを系統的に比較するとともに、拡散波動場理論に基づく解釈を適用し、推定地下構造の理論予測値と比較した結果を報告する。

結論からいうと、一般的性状として微動は一次のピークがあってその直後に谷となったあと、高振動数域でのピークも谷も明瞭ではなくなるが、地震動の場合には高振動数域にも明瞭なピークや谷が存在し、それは深部地盤速度構造の影響を反映したものであること、地震動で最適化した構造が必ずしも微動に対しても最適なスペクトル比を生成できるとは限らず、同時インバージョンの有効性が示唆されることを明らかにしている。

キーワード: 微動, 地震動, 拡散波動場
Keywords: microtremors, strong motion, diffuse-field theory

盆地端部形状が微動の水平上下スペクトル比に与える影響 The Effect of the Basin Edge to the Directional Dependent Horizontal-to-Vertical Spectral Ratios of Microtremors

松島 信一^{1*}; デ マルタン フロロン²; 川瀬 博¹; 福岡 侑里³; サンチェス-セスマ フランシスコ⁴
MATSUSHIMA, Shinichi^{1*}; DE MARTIN, Florent²; KAWASE, Hiroshi¹; FUKUOKA, Yuri³; SANCHEZ-SESMA, Francisco⁴

¹ 京都大学防災研究所, ² フランス地質調査所, ³ 京都大学工学部, ⁴ メキシコ国立自治大学工学研究所
¹DPRI, Kyoto University, ²Risk and Prevention Division, BRGM, ³School of Engineering, Kyoto University, ⁴Institute of Engineering, UNAM

著者らは京都大学宇治キャンパス内で常時微動観測を行い、水平上下 (H/V) スペクトル比解析で慣例的に行われているように水平 2 成分の平均をとらず NS/UD と EW/UD とを別々に求めたところ、ピーク振幅は NS/UD の方が大きく、ピーク振動数は EW/UD の方が高いという方位依存性があること示した。また、微動の H/V スペクトル比は、理論的には拡散波動場においてある一点を加振点及び受振点とする上下加振に対する上下応答のグリーン関数の虚部に対する水平加振に対する水平応答グリーン関数の虚部の比の平方根であることが明らかにされている (Sanchez-Sesma et al., 2011)。この理論は微動の H/V スペクトル比は水平成層構造を仮定する必要がないのが大きな特徴である。著者らは、観測記録の分析から、観測記録に見られる方位依存性が基盤の不整形性から起因していること示す一方で、数値計算により微動の H/V スペクトル比を計算し、基盤の不整形性が H/V スペクトル比に与える影響について検討した (Matsushima et al., 2014)。

京都大学宇治キャンパス周辺では、P 波反射法地震探査等の地下構造調査が行われており、東側に黄檗断層があり、そこから西に向かって基盤が傾斜して深くなっていることが示されている。本研究では、これらの情報をもとに基盤の不整形性が二次元的な構造をしており、約 1km の距離の間で基盤深さが二次元的に 420m 深くなる基盤構造であると仮定したモデルを用いた。

この二次元地盤構造モデルを用いて、三次元スペクトルエレメント法 (SEM) (De Martin, 2011) により、対象点における上下加振に対する上下応答のグリーン関数の虚部に対する水平加振に対する水平応答グリーン関数の虚部の比を、二次元構造に直交する方向 (EW 成分) と並行する成分 (NS 成分) について計算を行ったところ、NS/UD は EW/UD よりピーク振幅が大きく、EW/UD は NS/UD よりピーク振動数が高いという観測記録に対応する結果が得られた。また、直下の構造を抽出して水平成層構造を仮定して計算した結果と比べるとピーク振幅が小さく、ピーク振動数が高く、二次元構造の影響が H/V スペクトル比に与える影響が大きかった。また、盆地端部の形状が H/V スペクトル比に与える影響について数値計算にて検討したところ、盆地端部の形状が微動の H/V スペクトル比に大きな影響を与えることがわかった。さらに、二次元構造に直交する形で 2 つの測線に沿って多点の微動観測をした結果、理論的に予想される観測結果が得られた。

このように、二次元的な基盤の不均質性に影響を受けた微動観測記録の H/V スペクトル比の方位依存性を SEM による数値計算にて定性的に再現し、不整形な基盤構造が微動の H/V スペクトル比に大きな影響を与えることを示した。このことは、微動の H/V スペクトル比を用いて基盤の不均質性を考慮した地下構造の推定を行うことができることを示す一方で、水平成層構造を仮定した推定を行う際に注意を要することを表している。

キーワード: 微動, H/V スペクトル比, 拡散波動場, 不整形, 地下構造

Keywords: Microtremor, H/V Spectral Ratio, Diffuse Field, Heterogeneity, Velocity Structure