

丙第 351 号証

公益社団法人 物理探査学会
第143回(2020年度秋季)学術講演会
講演論文集

Proceedings of the 143th SEGJ Conference

2020年11月

オンライン開催

November, 2020 / Online Everywhere

The Society of Exploration Geophysicists of Japan

硬岩サイトでの水平アレイ観測に基づく 地震動と微動による地盤増幅特性とそのばらつきに関する検討

鳥居大輝*, 佐藤浩章, 東貞成, 栗山雅之 (電中研)

Investigation of Ground Amplification Characteristics and Its Variation using Seismic Motions and Microtremors Based on Horizontal Array Observation at Hard Rock Site

Daiki Torii*, Hiroaki Sato, Sadanori Higashi, Masayuki Kuriyama (CRIEPI)

Abstract: The ground model used for evaluation of seismic motion at specific site is generally created as a one-dimensional model based on the geological surveys and geophysical surveys, but examination using seismic records is one of the effective methods for validating it. In this study, we use seismic records by horizontal array observation at a hard rock site consisting of uniform granite except for the very surface layer, and the mean spectral ratio of seismic motion for each arrival direction of seismic waves was obtained with reference to Sawada et al. (2019). As a result, the spectral ratios are almost the same regardless of the arrival direction, and the results support the validity of the one-dimensional assumption of the ground model. Therefore, it was confirmed that the examination of ground amplification characteristics using the spectral ratio of seismic motions is effective as a method for validating the one-dimensional model even at hard rock sites. In addition, as a result of comparing the standard deviation (SD) of the spectral ratio of seismic motions with SD of microtremors immediately before recording, it suggests that is also affected by the environmental noise level as a possible cause of SD of seismic motions.

1. はじめに

耐震設計のための地震動評価において、地盤構造モデルは重要な情報の一つである。地震動評価に用いる地盤構造モデルは、地質調査や物理探査等の結果を踏まえて、1次元モデルを仮定して作成されるのが一般的である。このように地盤を1次元モデルで近似することの妥当性検証は重要であり、物理探査手法としては、複数のボーリング調査に基づくPS検層や反射法地震探査等の手法が用いられている¹⁾。しかしながら、既設の構造物等が存在する場合には、3次元的な調査が困難な場合が多く、地震観測記録を用いた検討も有効な手法の一つである。澤田他(2019)²⁾では、敷地内の局所的な地点や偏った方位の地震のみでみられるような特異な地震動の増幅を励起するような地下構造の有無の確認を目的として、稠密地震観測による地震記録を用いて、観測点のうち一地点を基準点としたときの他の観測点とのフーリエスペクトル比(以下、「基準化スペクトル」という)による検討がなされている。さらに、基準化スペクトルの標準偏差(以下、「SD」という)による地震ごとのばらつきを求め、地盤増幅特性の不確実性について検討されている。

本研究では、複数のボーリング調査等からごく表層を除きVs2.2km/s程度の硬質な岩盤が広がりをもって存在する硬岩サイトを対象に水平アレイ観測を実施し、

澤田他(2019)にならい地震記録を用いた基準化スペクトルによる地盤増幅特性の検討を行った。さらに、複数の微小地震から求めた基準化スペクトルについて地震動の方位依存性についても検討を行った。また、同観測点における地震記録の直前の微動記録を用いて、基準点に対する他の観測点とのフーリエスペクトル比(以下、「基準化微動スペクトル」という)を求め、地震と微動のばらつきの比較から、基準化スペクトルのばらつきの要因について考察した。

2. 地震観測の概要

水平アレイ観測は、若狭湾地域における硬岩サイトにて実施された。対象サイトは、主として古生代後期の夜久野オフィオライト(輝緑岩・斑れい岩)からなる硬岩サイトで、敷地内のボーリングデータによるPS検層、試掘坑弾性波探査からVs2.2km/s程度の硬質な岩盤として広がりをもって存在していることが確認されている。Fig.1に示す約1km四方の敷地において、合計7点の観測点を地表に設置して地震観測を行った。観測に用いた機器は、以下のとおりである。

- ・過減衰型加速度計 JEP-6A3 (ミツトヨ製)
- ・収録器: LS-8800 (白山工業製)

観測期間は、2019年6月12日から2019年12月18日の約6ヶ月間である。

3. 地盤特性の評価と基準点の設定

地震記録を用いた検討を行う前に、Fig.1に示した各観測点における微動H/Vスペクトルによる地盤特性の評価を行う。微動H/Vスペクトルの算定に用いる微動データは、ノイズの少ない夜中の時間帯の記録を使用し、同時時間帯から20.48秒間のデータを20区間切り出して各観測点の微動H/Vスペクトルの平均を求めた。

Fig.2の微動H/Vスペクトルは、No.06とNo.07を除く観測点では、明瞭なピークがなくほぼ平坦な特性となっている。これは、その観測点が岩盤地点であり、表層地盤の影響が少ない地点であることを示唆している。No.06とNo.07は、一部の周波数帯で明瞭なピークがみられるが、他の5地点に比べて標高が数十メートル高く、表層地盤もしくは地形の影響と考えられる。

次に、基準化スペクトルの検討における基準点を設定する。基準点は岩盤で表層地盤の影響が少ない地点が望ましいため、微動H/Vスペクトルの周波数特性が平坦であり、敷地の比較的中心に位置するNo.02を基準点と設定した。

4. 地震記録とデータ処理方法

検討対象とする地震記録は一元化震源リストに基づき、観測点から半径400km以内、 M_j が2.0以上、震源深さ100km以浅の地震とした。上記の検索条件に当てはまる地震からS/N比が良好なデータのみを採用すると検討対象地震は、84個であった。これらの検討対象地震をFig.3に示す通り、真北方向から90度ずつ4象限に分割し、地震の到来方位ごとにグループ分けした。グループ1は18地震、グループ2は30地震、グループ3は28地震、グループ4は8地震であった。なお、グループ4においては、 M_j が2.0以上の条件では2個だったため、 M_j の条件を1.0以上とした。

解析に用いるデータの処理は、まず連続記録から検

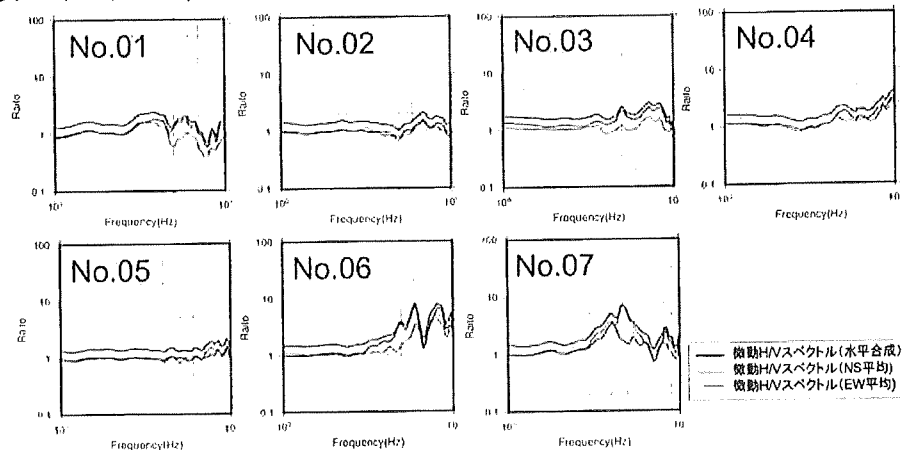


Fig. 2 Microtremor H/V spectral ratios at each observation point.

討対象地震のS波初動を目視により読み取り、S波初動から20.48秒間のデータを切り出す。次に、バンド幅1~10Hzのバンドパスフィルター処理を行う。一例として、一つの地震について全観測点の時刻歴速度波形(NS成分)をFig.4に示す。

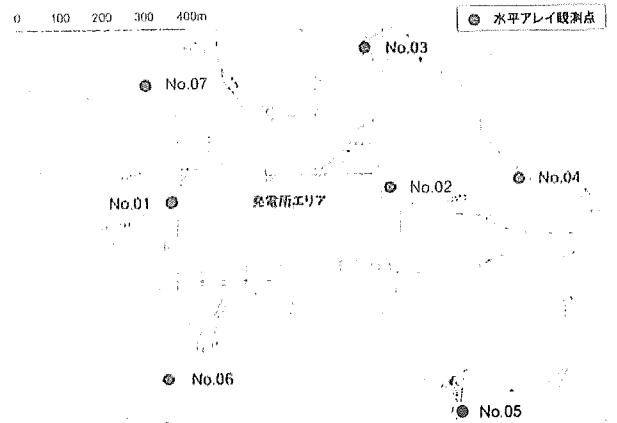


Fig. 1 Distribution of observation points for the Horizontal Array observation.

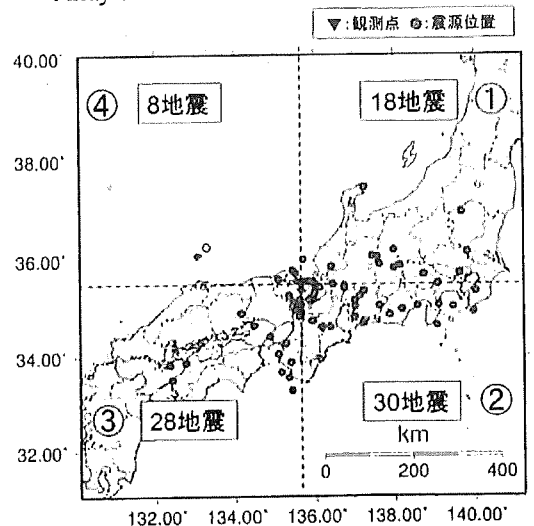


Fig. 3 Epicenter distribution map of the obtained earthquake.

5. 地震記録の基準化スペクトルと方位性の検討

各観測点において、すべての検討対象地震の基準化スペクトルを求め、地震の到来方向ごとにグループ分けする。代表して No.03 の観測点における基準化スペクトルを Fig. 5 に示す。また、到来方向ごとの平均の基準化スペクトルの比較を Fig. 6 に示す。Fig. 6 から、No.01, No.03-05 の基準化スペクトルは概ね 1 前後であり、その周波数特性は 1 次元の平均的な構造を反映していると考えられる微動 H/V スペクトルの傾向と同様である。また、各観測点における地震波の到来方向ごとの基準化スペクトルは、到来方向によらず概ね一致している。このように各観測点において地震波の到来方向に基づく方位依存性がみられないということは、観測エリアにおいて特異な増幅をもたらすような地下構造がなく、地盤構造モデルの 1 次元仮定の妥当性を示唆するものと考えられる。

さらに、Fig. 7 に示すように、地震波の到来方向ごとの基準化スペクトルの標準偏差(ばらつき)を求めた。澤田他(2019)では、基準化スペクトルの SD は周波数と共に大きくなる傾向がみられ、10Hz で 0.2 前後となっている。本研究では Fig. 7 に示すとおり、周波数帯により多少のばらつきはあるものの周波数と共に大きくなり、10Hz で 0.2 前後と、澤田他(2019)と同様の傾向が得られた。

6. 基準化微動スペクトルと SD の比較

ここでは、水平アレイ観測で得られた微動記録を用いて基準化微動スペクトルの SD を求め、地震動の基準化スペクトルの SD と比較することで、基準化スペクトルのばらつきの要因について考察した。なお、検討に用いた微動記録は 4 章の検討対象地震のそれぞれ地震発生前の 10 分間から切り出したものである。すなわち、この微動記録は、地震記録時における環境ノイズが主要因の記録と位置づけられる。

到来方向グループ 3 を代表して、地震動の基準化スペクトルの SD と基準化微動スペクトルの SD の比較

を Fig. 8 に示す。また、微動記録をそれぞれ検討対象地震に対応する到来方向グループに振り分け、到来方向ごとの基準化微動スペクトルの SD を比較した(Fig. 9)。Fig. 8 及び Fig. 9 から、地震と微動の SD のレベルや周波数特性は概ね類似していることから、地震動の基準化スペクトルの SD は、その要因として、澤田他(2019)が指摘する地盤増幅特性の不確かさとしてだけでなく、観測点の環境ノイズレベル等によっても影響されている可能性が示唆される。

7. まとめ

本研究では、硬岩サイトを対象に水平アレイ観測により得られた地震記録を用いて、澤田他(2019)を参考に地震波の到来方向ごとに各観測点における基準化スペクトルを求めた。その結果、平均基準化スペクトルは方位に依らず概ね一致し、1 次元仮定が妥当であることを支持する結果となった。したがって、地震記録に基づく基準化スペクトルを用いた方位依存性の有無を含む増幅特性の検討は、硬岩サイトにおいても 1 次元地盤構造モデルの妥当性検証の手法として有効であることが確認できた。

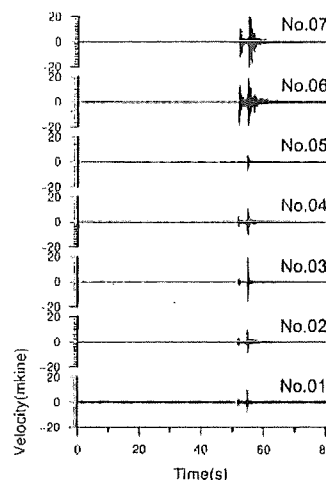


Fig. 4 An example of the seismic motion obtained each observation point.

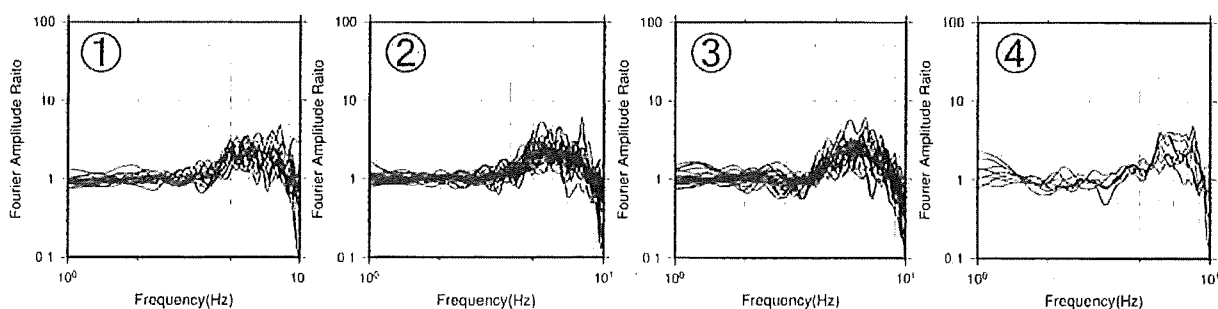


Fig. 5 Spectral ratios with a common reference site(No.02) for each arrival direction of earthquake. (No.03)

また、標準化スペクトルの標準偏差 (SD) は、全観測点において 10Hz で 0.2 程度であり、澤田他(2019)と同様の傾向が得られた。一方で、地震動の標準化スペクトルの SD と地震記録直前の標準化微動スペクトルの SD を比較した結果、そのレベルや周波数特性が概ね類似していることから、地震動の標準化スペクトルの SD は、その要因として、観測点の環境ノイズレベルによっても影響されている可能性が示唆された。これらの点については、今後、さらに観測記録を充実させることにより検討していきたい。

謝辞

本観測は、関西電力(株)の敷地内にて実施された。関係者には多大なるご協力をいただきました。

参考文献

- 1) 佐藤浩章・鳥居大輝 (2019): 原子力発電所の基準地震動策定における地下構造モデル化の現状と今後の展望, 電力中央研究所報告, O19002
- 2) 澤田義博・田澤芳博・矢島浩 (2019): 原子力サイトにおける高密度地震観測に基づく地震増幅特性の不確実性の検討, 物理探査学会第 141 回学術講演会論文集, 123-126

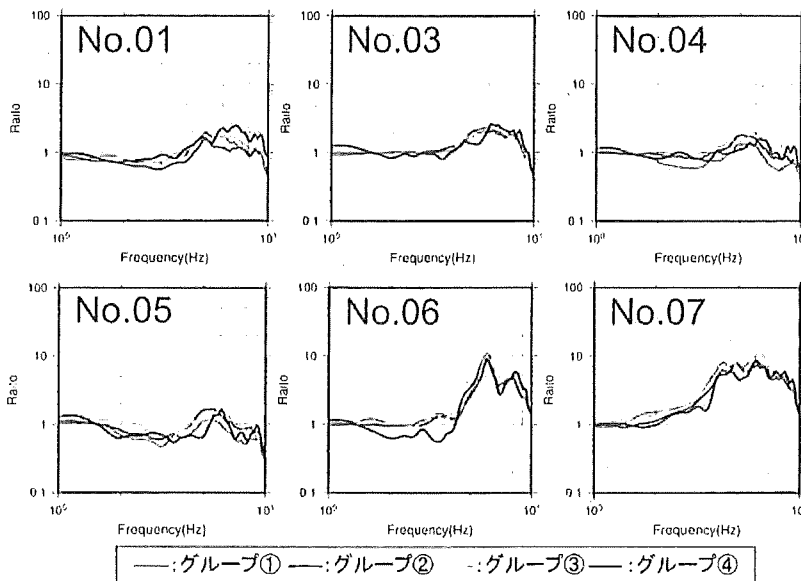


Fig. 6 Mean spectral ratios with a common reference site(No.02) for each direction group of earthquake.

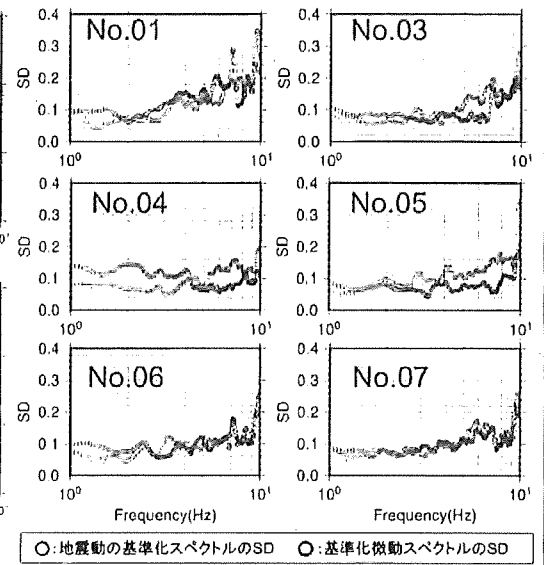


Fig. 8 Comparison of standard deviations between earthquake and microtremor.(Group3)

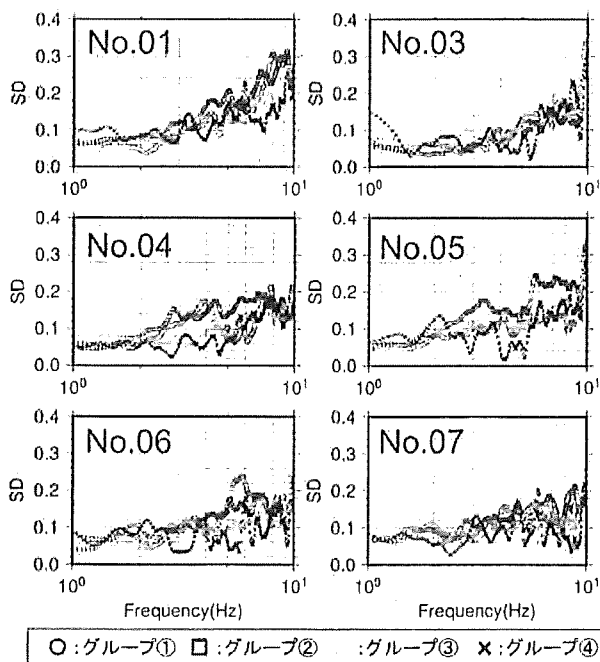


Fig. 7 Comparison of standard deviations of spectral ratios for each direction of earthquake.

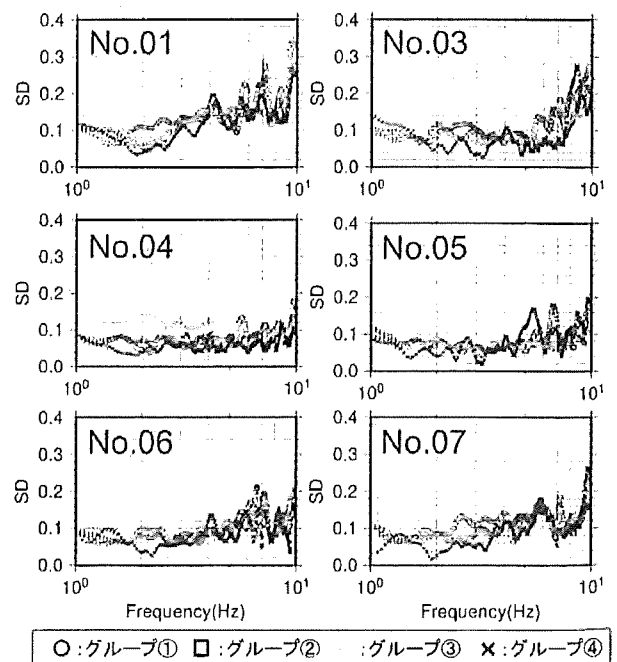


Fig. 9 Comparison of standard deviations of spectral ratios for each direction of microtremor.