

拡散場理論による地震動の水平・上下比の新解釈
New Interpretation of Horizontal-to-Vertical Ratios of Earthquake Motions
Based on Diffuse Field Theory

○川瀬博・アリアン デュセリエ・
松島信一・フランシスコ サンチェズ・セスマ
○Hiroshi KAWASE・Ariane DUCCELLIER・
Shinichi MATSUSHIMA・Francisco J. SANCHEZ-SESMA

For a set of incoming plane waves with varying azimuths and incidence angles we expect that we can apply a 1D description of wave propagation for a diffuse (average) field of ground motions. We first show a comparison of averaged synthetics of 1D underground structures with a corresponding simple theoretical prediction from 1D transfer functions. We have proved that we can obtain identical H/V ratios that the simple theory of diffuse field predicts. Then we show several examples of H/V ratios for actual seismic motions observed in Japan. We found that the earthquake H/V ratios are quite stable no matter what part of the waveform is used to analyze, except for the P-wave part. We also found that their basic spectral characteristics can be well reproduced by the extracted velocity structures from the simple theory of diffuse field.

1. はじめに

地震記録の H/V スペクトル比(地震動 HVR)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、広く用いられているが、その短周期域については十分活用されてきたとは言い難い。地震動 HVR は水平成層構造への斜め入射の P-SV 波場でモデル化した研究もあるが、理論通りのスペクトル形状となることは少なく、それは表面波混入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 波増幅のそれ、および表面波の卓越振動数が対応することはよく知られているが、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、HVR の利用においては振幅利用は控えるべきとされてきた。

しかし最近著者の一人は、拡散理論に基づき、地震動 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(Sánchez-Sesma et al., GJI submitted, 2010)。本稿では地震動の S 波部分に対してその手法を適用し、推定地下構造の理論予測値と比較した結果を報告する。

2. 理論

震源がランダムに十分な数存在していた場合、拡散波場における平均 HVR は以下のように表される。

$$\frac{H(\omega)}{V(\omega)} = \sqrt{\frac{2 \operatorname{Im}[G_{11}^{\text{1D}}(\mathbf{x}, \mathbf{x}; \omega)]}{\operatorname{Im}[G_{33}^{\text{1D}}(\mathbf{x}, \mathbf{x}; \omega)]}} \quad (1)$$

ここで $G_{11}^{\text{1D}}(\mathbf{x}, \mathbf{x}; \omega) = G_{22}^{\text{1D}}(\mathbf{x}, \mathbf{x}; \omega)$ は観測・加振地点 \mathbf{X} における一次元成層地盤の水平方向のグリーン関数の虚部、 $G_{33}^{\text{1D}}(\mathbf{x}, \mathbf{x}; \omega)$ は同上下方向のグリーン関数の虚部である。さらに一次元成層地盤の実体波の増幅特性を考えると(Claerbout, 1968)

$$\frac{H(0, \omega)}{V(0, \omega)} = \sqrt{\frac{2\alpha_H}{\beta_H} \frac{|TF_1(0, \omega)|}{|TF_3(0, \omega)|}} \quad (2)$$

が得られる。ここで α_H は基盤 P 波速度、 β_H は基盤 S 波速度、 $TF_1(0, \omega)$ は一次元成層地盤の鉛直 S 波入射時の地表面水平成分伝達関数、 $TF_3(0, \omega)$ は同 P 波入射時の地表面鉛直成分伝達関数である。

3. 観測

いくつかの K-NET 観測点で観測地震波の平均 HVR を計算し、式(2)で求められた理論 HVR と比較したところ、多くの地点でよく一致した。その際、全区間の波形を用いても S 波部分 10 秒間に限定しても Coda に限定しても、また振幅正規化をしてもしなくても、観測 HVR はほとんど変わらないが、P 波のみの区間だけは過小評価となった。理論と対応する周波数範囲は 0.1~30Hz の間となる。この結果は式(2)を用いた地下構造同定の可能性を示している。