

## 硬質地盤上での観測地震記録を用いた地盤構造同定 Ground structure identification using earthquake records observed on hard ground

○長嶋史明・川瀬博・伊藤恵理

○Fumiaki NAGASHIMA・Hiroshi KAWASE・Eri ITO

The estimation of the detailed site amplification factor at the rigid rock site is rather difficult because of its small fluctuations. We applied the diffuse field concept for earthquake (DFCe) to a KiK-net site (YMGH01) which is installed on the stiff rock. The Horizontal-to-Vertical spectral Ratio of earthquake (EHVR) observed at YMGH01 have only two small peaks around 0.12 Hz and 0.4 Hz, as well as small fluctuations in the higher frequency range. These small peaks in the lower frequency range are also observed at a nearby site within 3.2 km so that they should be manifestations of the deep ground structure in the region. The velocity structure identified based on DFCe reproduces the observed EHVR well, especially these small peaks. Reproducing small peaks in low frequency range helps to invert the detail of the whole of EHVR and to identify more accurate velocity structures.

### 1. はじめに

強震動予測や地震被害予測を高精度化するため、地盤構造を同定しサイト増幅特性を推定する手法がこれまでに多数提案・実用されてきた。その主なターゲットは人の住む市街地であり平野や盆地など堆積地盤であることが多い。観測された波動場に含まれる特徴量をもとに地盤構造同定やサイト増幅特性推定は行われるので、地質境界（波動伝播速度）の違いがはっきりしている盆地などでは特徴量の抽出が容易く従来の手法（位相速度を用いた手法、岡田 2008 など）で地盤構造等をよく求めることができる。一方、山間部などに存在する硬質地盤では伝播速度が地盤の浅部から深部まで大きく変わらず、観測波に含まれる特徴量が弱くははっきりと表れないことも多く、地盤構造同定等が難しい事例も多い。硬質地盤では地震動は大きく増幅されずに被害としても大きくなりづらいものの、その表層地盤の影響の小さい観測点を基準として他地点を評価する手法などでは硬質地盤の増幅特性を詳細まで評価することは他地点の評価精度の向上につながるの重要である。本研究では地震動の拡散波動場理論 (DFCe, Kawase et al., 2011) を硬質地盤に適用しその詳細な地盤構造の同定や増幅特性の推定を行う。

### 2. 対象とする観測点

本研究では山口県防府市に防災科学技術研究所によって設置された KiK-net 観測点の YMGH01 を

対象とする。本観測点設置時に行われたボーリング調査では地表 1.3m の盛土の下に細粒黒雲母花崗岩が深さ 250m 以上まで続いていることが分かっており、PS 検層による S 波速度も深さ 14m で 2100m/s に達しており非常に硬質な地盤であることが予想される。本観測点から 3.2km 離れた防府平野上には K-NET 観測点の YMG013 が存在し、深さ 14m までは砂や砂礫でそれ以深は岩で構成される地盤となっている。YMGH01 と YMG013 の近接する観測点では深い地盤構造は共通のものと考えられるので、深い地盤構造に関連する地震動の特性も同一であると仮定することができる。

2019 年 10 月に YMGH01 で微動観測を行い表面波の位相速度分散曲線の抽出を試みたが良好な解を得ることができなかった。これは地盤増幅特性が小さいことや微動自体のパワーが小さいこと、周辺環境によるノイズが大きかったことなどが原因と考えられ、位相速度を用いた硬質地盤の構造推定の難しさが示された。

### 3. 観測地震動水平上下スペクトル比

YMGH01 で観測された地震動からマグニチュードが十分大きく ( $M_{JMA} > 5$ ) 時刻歴波形で地震動の S 波部が明瞭に見えるものを選択し、S 波以降を切り出して FFT によりスペクトル振幅を求めた。そのスペクトル振幅の低振動数部分 (0.1Hz 前後) で地震動のパワーが機器ノイズ等よりも大きいと

思われる記録のみを用いて平滑化の後に水平上下比を計算し、その幾何平均を求めた。事前解析の結果、YMGH01の地盤増幅が小さいためか観測地震動の低振動数成分のパワーが弱くEHVRの地震間のばらつきが大きかった。そこで共通の深部地盤構造により低振動数部分の増幅特性がYMGH01と同じであろうと推察されるYMG013の記録も併用して地震数を増やすことでよりロバストなEHVRを求めることとした。両観測点で観測されている地震記録を用いてEHVRを比較したところ、図1に示すように0.53Hz以下では両者はほぼ完全に一致し、低振動数部分の増幅特性や深部地盤構造が共通であるという仮定の妥当性が示された。よって0-0.53HzではYMGH01とYMG013のEHVRの幾何平均を求め0.53Hz以上ではYMGH01のEHVRを求めることにした。得られた地震動水平上下スペクトル比(EHVR)は図2に示すように細かい増減はあるもののフラットな形状をしており、YMGH01では地盤増幅は小さいことが観測記録からも推察される。

#### 4. 地盤構造同定及び増幅特性推定

3章で求めたYMGH01のEHVRを再現するような地盤構造をDFCeに基づき同定し増幅特性を推定する。観測記録の細部をどこまで再現するかと

いう過適合に関する問題は常に考慮すべきであるが、今回の観測EHVRに見える0.12Hzや0.4Hzの小さなピークはYMGH01とYMG013の両方で表れているので対象地域特有の震動特性によるものと考え、この小さなピークを再現するような地盤構造を同定した。最適解の探索にはハイブリッドヒューリスティック法を用い、0.08-20Hzの範囲で観測EHVRと理論EHVRの残差を振幅と周波数のどちらもログスケールで最小化した。なお0.12Hzと0.4Hzの小ピークを再現するために0.08-0.6Hzまでの残差に大きな重みをつけて計算している。同定するのは各層の $V_s \cdot V_p \cdot$  層厚とし、減衰は $h=2.5/V_s$ を仮定した。

同定結果を図3に示す。同定構造は観測EHVR全体の形状をフォローしつつ0.1Hzや0.4Hzのピークもよく再現している。低振動数の小さなピークまで再現したことでEHVR上の細かな増減も再現されており、観測記録をより詳細に説明可能な地盤構造が同定できたと考える。PS検層に基づく地盤構造では基盤が浅く水平増幅特性の低振動数部分は平坦で10Hzや20Hzに小さなピークが生じていたが、同定構造では増幅特性の全体に細かな増減を生じさせつつ10Hzに緩やかな小ピークを持つ水平増幅特性となった。

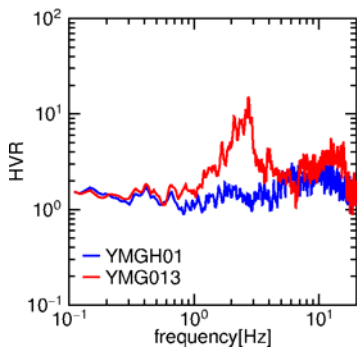


図1 観測EHVRの比較

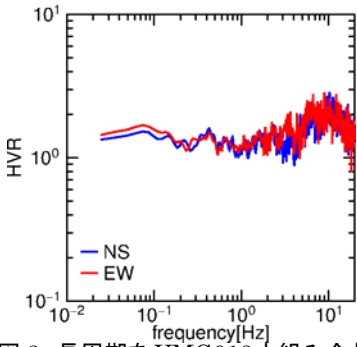


図2 長周期をYMG013と組み合わせたYMGH01の観測EHVR

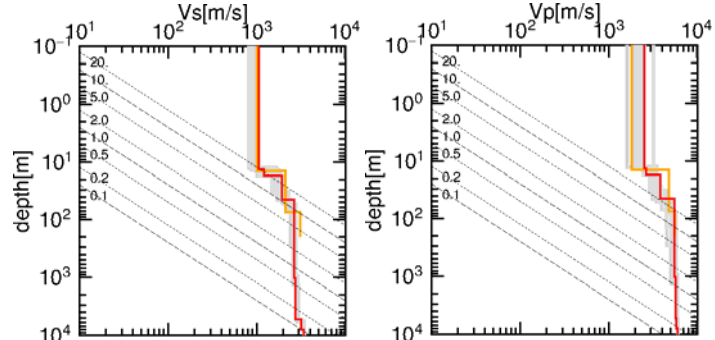
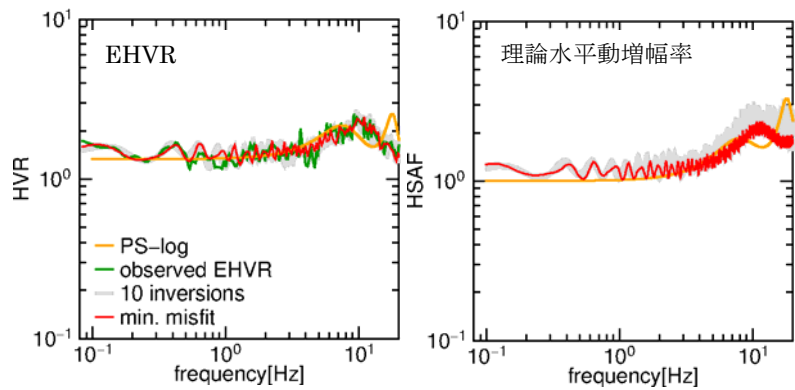


図3 YMGH01の同定結果