

地震動 HVR を用いた地盤構造の同定と基盤入射波の逆算
 Identification of ground velocity structures and investigation of seismic bedrock waves based on
 Horizontal to Vertical spectral Ratios of earthquakes

○長嶋 史明

○Fumiaki NAGASHIMA

Strong ground motion prediction is important for thinking about earthquake disaster prevention, and soil structure has large effect on the ground motion. In recent days diffuse field theory based Horizontal-Vertical spectral Ratio (HVR) interpretation was proposed. We applied this theory to earthquake motion data observed at SMNH01, and evaluated ground motion characteristics from earthquake HVRs. We identified soil structures which represented observed HVRs well. Then, we estimated bedrock waves of The Western Tottori prefecture earthquake in 2000 by equivalent linear analysis, and obtained bedrock waves which corresponds to previous studies, approximately.

1. はじめに

日本はこれまでに幾度も地震により被害を受け、今後も大きな被害をもたらす大地震の発生が予想される。地震防災・減災を考えるうえで地震動予測および被害予測は重要であり、地震動に影響の大きい地盤構造の精度を向上させることでその予測の精度も向上させることができる。

本研究では拡散波動場における地震動水平上下スペクトル比 (HVR) に関する理論を用いて、KiK-net 伯太 (SMNH01) で観測された地震動記録から中小地震 HVR による地盤震動特性を推定する。また、中小地震 HVR を再現できる地盤構造の同定を複数の層数モデルに対して行い、それらの同定結果に対して赤池情報量基準 (AIC) を用いて尤度を検討する。最後に、2000 年鳥取県西部地震の本震記録の基盤地震動を逆算する。

2. 地震動 HVR による地盤震動特性の推定

拡散波動場において 1 次元成層構造への鉛直入射を仮定すると、地震動 HVR は地震基盤以浅の伝達関数の水平上下比に対応する。よって HVR のピークは水平動伝達関数のピークと、HVR の谷は上下動伝達関数のピークと対応する。

今回対象とした KiK-net 伯太は山間にある谷底低地に位置し、周囲を山に囲まれ北側には小川があり複雑な地形をしている。ここで観測された 1999 年～2011 年までの地震動 (2000 年鳥取県西部地震本震は除く) に対し方位別・地震発生年ごとに平均 HVR を計算する。

地表観測点での地震動 HVR を Fig.1 に示す。凡例の括弧内は平均に用いた地震数を示す。1999 年～2007 年まで鳥取県西部地震を挟んだが大きな変化はない。4Hz と 6Hz にピークが見られ、2008 年からピーク振動数は変わらないもののその振幅が大きく増大している。地中観測点 HVR や地表/地中スペクトル比も検討した結果、2008 年以降地表観測点の UD 成分が変化したことが分かった。

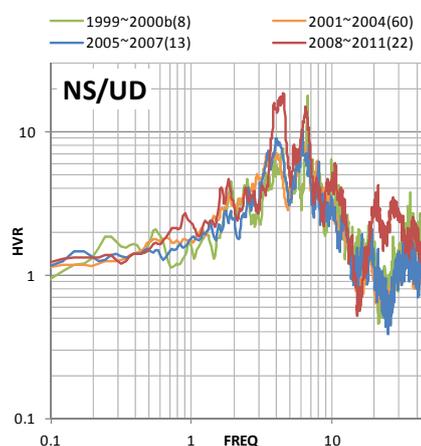


Fig.1 Observed HVR (NS/UD)

3. 中小地震に対する地盤構造の同定

拡散波動場理論に基づいて理論 HVR を計算し、観測 HVR との残差が最少となるような地震基盤以浅の 1 次元地盤構造を同定する。残差計算時 f^l の重みをかける。各層の S 波速度と層厚を変数として、P 波速度と密度は経験式から換算する。

構造探査にはハイブリッドヒューリスティック法 (HHS 法) を用いる。400 個体、300 世代の計算を 10 回行い、計 10 個の解の中から残差が最少の

ものを本研究での最適モデルとする。残差は 0.1 ~20Hz の範囲で計算する。

全部で7層から10層の層数を与えた4つのモデルに対して同定を行い、それぞれの最適モデルに対してAICを用いて層数に対する同定モデルの尤度を検討する。AICはデータのばらつきを正規分布としたときの多項式に対する式を考える。NS/UD、EW/UDを観測HVRとした等価1次元地盤構造と、平均的な1次元地盤構造としてのそれらの二乗和平均平方根(RMS)の3通りの同定を行う。

個々の同定では、どのモデルでもほぼ同様の解に収束した。AICによる尤度検討の例として、NS/UDに対する7~10層モデルの同定結果のHVRをFig.2、同定構造をFig.3、最少残差とAICをFig.4に示す。HVRはどの層数モデルでも同様の形状を示し、同定構造はどの層数モデルでも同じ構造を表していると考えられる。最少残差は9層モデルにて多少の増加が見られるものの層数が増加するほど減少するのに対し、AICは8層モデルで極小値をとっている。以上よりNS/UDに対する同定構造には、AICが極小となる8層モデルを採用する。同様の構造同定および尤度検討をEW/UDとRMSに対しても行い、EW/UDは8層モデルを、RMSは9層モデルを最終同定結果とした。

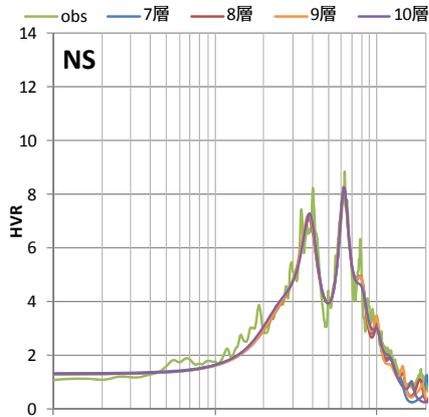


Fig.2 HVRs of 7-10 layers models

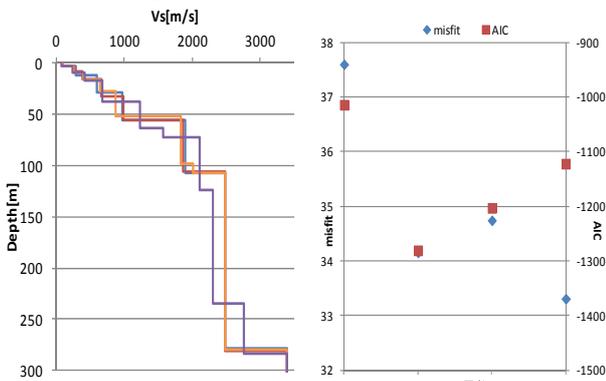


Fig.3 Soil structures of 7-10 layers models

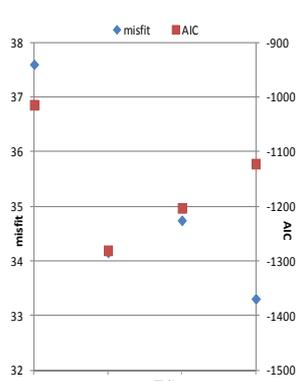


Fig.4 misfit and AIC of 7-10 layers models

4. 鳥取県西部地震本震の地震動

鳥取県西部地震の本震 HVR (Parzen 窓幅 0.3Hz) と 1999 年~2007 年の中小地震の平均 HVR との比較を Fig.5 に示す。中小地震と比べて本震では顕著な長周期化が見られ 1.0Hz あたりに中小地震にはないピークが見られる。

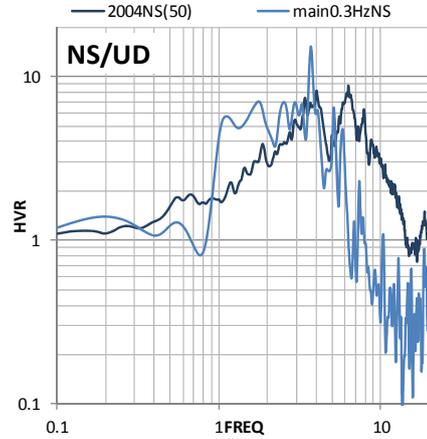


Fig.5 HVRs of Main shock and average of weak motions

DYNEQ を用いて等価線形解析により基盤地震動を逆算する。ボーリングデータを参考に表層に砂礫の非線形特性を、それ以深には岩の非線形特性を適用する。基盤入射波の逆算結果を Fig.6 に示す。特性曲線法を用いた既往研究の逆算波も合わせて示す。既往研究と本研究との間で基盤地震動を算出した深さ等の違いはあるが、概ね対応した結果が得られた。

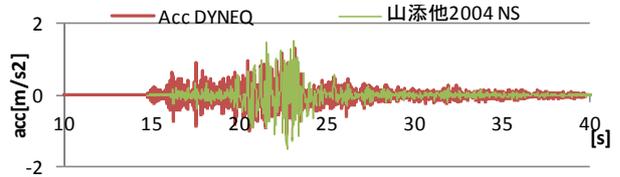


Fig.6 Estimated bed rock waves (NS)

5. まとめ

SMNH01 において、拡散波動場理論に基づき地震動 HVR から地盤震動特性の把握、1次元地盤構造の同定および強震時の基盤地震動の逆算を行った。観測 HVR から弱震時は 4Hz および 6Hz に共振振動数を持つ地盤であることが分かった。構造同定では複数の層数モデルで同様の構造を表すものが得られ、AIC から 8 層モデルで尤度が極大になることが分かった。また、鳥取県西部地震時には地震動 HVR に大きな非線形と 1Hz に特異なピークが見られ、地盤の非線形を考慮した解析により既往の研究結果と概ね対応した基盤地震動を逆算することができた。