

微動から求めた擬似地震動水平上下スペクトル比を用いた  
 グルノーブル盆地における地盤構造の推定

Estimation of the velocity structures in the Grenoble basin by using pseudo Earthquake  
 Horizontal-to-Vertical Ratio

○伊藤恵理・川瀬博・Cecile CORNOU・長嶋史明

○Eri ITO, Hiroshi KAWASE, Cecile CORNOU, and Fumiaki NAGASHIMA

EMR is a correction factor to transform microtremor Horizontal-to-Vertical ratio (MHVR) into earthquake HVR(EHVR) for the inversion method of velocity structure using observed EHVR. The resultant EHVR by MHVR and EMR is called pseudo HVR (pEHVR). The applicability of EMR from one site to the other may not warranted. We first calculated EMR specific for the Grenoble basin in France (EMR'), and calculated pEHVRs using EMR' and MHVRs (pEHVR'). We compared the pEHVR's with EHVRs at 5 sites. The pEHVR's were similar to the EHVRs. We got the inverted velocity structures using pEHVR's, EHVRs and MHVRs at these 5 sites. The velocity structures by pEHVR's were more similar to those by EHVRs compared to those by MHVRs. We also got the inverted velocity structures using pEHVR's at the sites without observed earthquake data. The overall picture of Z1.3 in a cross section corresponded to the one by the previous study.

1. はじめに

地震による被害に直結する地震動のS波の増幅特性を反映する地盤構造を推定することは地震防災にとって重要である。Nagashima et al. (2014) は、観測地震動を用いた拡散波動場理論に基づく1次元地盤構造推定手法を提案している。しかし、地震観測は微動観測よりも費用がかかることから、Kawase et al. (2018) は日本の100地点で観測された微動の水平上下スペクトル比(MHVR)と地震動水平上下スペクトル比(EHVR)のスペクトル比、EMRを用いて、擬似地震動水平上下比(pEHVR)を計算する手法を提案している。彼らは提案したEMRとMHVRを掛け合わせることで計算されるpEHVRが、MHVRに比べ観測EHVRによく似ていることを既に示している。さらに、彼らは、Nagashima et al. (2014) の提案する地盤構造推定手法にpEHVRを用いることで地盤構造を推定し、その推定結果が観測EHVRによって得られる構造とよく類似していることを示している。

しかしながら、本手法を海外に適用する場合、EMRはその土地の地盤構造に依存するため、日本のEMRとは違うことが問題として挙げられ、EMRをKawase et al.(2018)と同様に多数の観測微動と地震動から求めようにも、地震活動が活発でない地域や、地震観測網の発達していない地域

では地震動の観測が難しい。このような背景から、本研究では、仏・グルノーブル盆地のデータを用いて、EMR(EMR')を計算する簡便な手法を提案する。さらに、観測地震動が得られている地点でEMR'を用いて得られた地盤構造の妥当性を評価した上で、観測地震動が得られていない複数地点において同手法の適用を試み、既往研究結果と比較を行った。

2. グルノーブル盆地におけるEMR(EMR')の計算手法の提案

グルノーブル盆地におけるEMR(EMR')の計算においては、日本のEMRとその形状が似ており、修正係数 $\alpha$ によって振幅のみを調整することで求められるとして式(1)のように定義し計算することを提案した。そのEMR'によって得られるpEHVR(pEHVR')は式(2)で表される。

$$EMR' = 10^{\alpha \log EMR} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} pEHVR' &= MHVR * EMR' \\ &= MHVR * 10^{\alpha \log EMR} \end{aligned} \quad (2)$$

その後、式(3)で示される5つの地震観測地点(以下OGサイト)でのpEHVR'と観測EHVRの差の合計値が最小になる $\alpha$ を、 $\alpha$ を0.1から0.5まで変化させることで求めた。最終的に $\alpha$ が0.28の時

に両者が最も一致するという結果を得た。

$$M = \frac{\Sigma(\log(\text{obsEHVR}) - \log(\text{pEHVR}))^2 / f}{\Sigma(\log(\text{obsEHVR}))^2 / f} \quad (3)$$

### 3. pEHVR'による地盤構造の推定

(1) 地震動記録が得られているサイト(OG サイト)での結果の妥当性の検証

2.において得られた EMR'から計算した OG サイトにおける pEHVR'、観測 EHVR、MHVR を比較し、pEHVR'と観測 EHVR がよく類似していることを確認した後、それらを用いて Nagashima et al. (2014) の手法により地盤構造を推定した。インバージョンの初期モデルは、盆地内で唯一得られた G04 地点のボアホールデータに基づき作成した構造である。pEHVR'、観測 EHVR、MHVR による地盤構造を比較すると、pEHVR'と観測 EHVR による地盤構造が良く類似している結果となった。図 1 に初期モデル(initial)と 1 地点(OGDH)における MHVR、pEHVR、EHVR から得られた地盤構造の比較を例として示す。

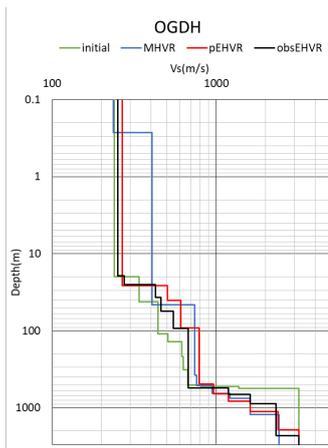


図 1 地盤構造推定結果

(2) 地震動記録が得られていない地点(G サイト)への適応と結果の妥当性の検証

次に、観測地震動が得られていない地点(G サイト)での本手法の適用を試みた。観測地震動のある地点でのインバージョンで用いた初期モデルは、グルノーブル盆地内の唯一のボアホール地点 G04 のデータに基づくものであり、552m 以深は岩盤としており、それ以浅と以深では S 波速度に大きな差がある。一方、OG サイトの推定地盤構造には、全地点で 500~600m 以深に S 波速度が段階的に増加する複数層が生じていた。インバージョンにおいて、深部への拘束力が地震動に比べて弱い MHVR 由来の pEHVR でのインバージョンの際

には、より深部が詳細な初期モデルが望まれる。そこでまず、OG サイトの結果を分析し、微動の 1 次ピーク振動数を制御しているのは Z1.3(S 波速度が 1.3km/s 以上となる層の上面深度)であることと、地震基盤相当の Z3.2(S 波速度が 3.2km/s となる層の上面深度)は Z1.3 と比例関係にあることがわかった。この結果を用いて、OG サイト 5 地点での Z1.3 以深の段階的に S 波速度が増加している複数層を平均化し、新たな代表初期モデルを作成した。G サイト各地点での初期モデルは、各地点の微動のピーク振動数から得られる推定 Z1.3、そして推定 Z1.3 から回帰式で得られる推定 Z3.2 と初期代表モデルのそれらを比較し、各層厚を比例配分することで求めた。その各地点での初期モデルと pEHVR'を用いて地盤構造を推定した。当結果の妥当性評価には Vallon(1999)による当盆地内の重力異常深度を用いた。Vallon(1999)で得られた重力異常深度は、Z1.3 によく対応することを OG サイトの分析結果から得ており、この関係を使って妥当性を評価した。図 2 には直線上の 6 地点における推定地盤構造、Z1.3 (◆) Z3.2 (▲) と、Vallon(1999)による重力異常深度推定地点のうち各 G 地点に近接の 4 地点から求まる Z1.3 の重みづけ平均値(×)、4 地点の最大値、最小値(—)を示している。縦軸は深度、横軸は S 波速度を示す。インバージョンにより得られた Z1.3 の各地点での深度は、Vallon(1999)のその範囲におおよそ収まることが分かった。

### 4. まとめ

グルノーブル盆地における EMR の簡便な推定手法を提案し、それを用いて地震観測記録の無い地点で地盤構造を推定した。直線上の 6 地点における推定された地盤構造内のある層の上面深度(Z1.3)は既往研究の結果とおおむね一致した。

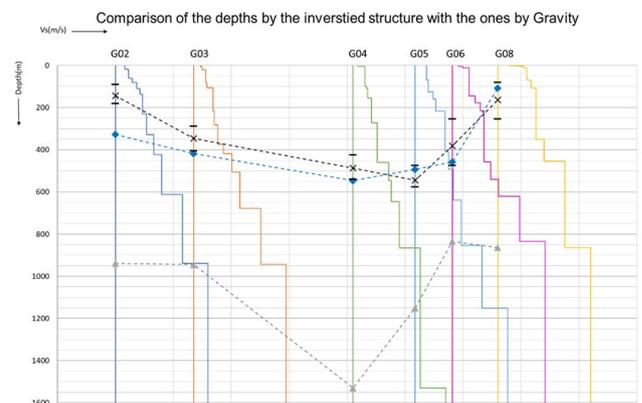


図 2 直線上の 6 地点における Z1.3 の比較