

拡散波動場理論の海外での適用～グルノーブル盆地の事例～
Application of diffuse field theory to foreign subsurface structures -A case of Grenoble-

○長嶋 史明・川瀬 博

○Fumiaki NAGASHIMA, Hiroshi Kawase

The subsurface structure identification method, which we developed by using the diffuse field concept and validated to the Japanese seismic data, can give us the ground structure by using the observed earthquake motions only at one surface site. The method is advantageous because it does not need a priori underground information.. We applied this method to the Grenoble basin, France, to confirm the applicability of the method outside of Japan. We first calculated Horizontal to Vertical spectral Ratio (HVR) and found that the HVRs observed inside the Grenoble basin had a prominent peak at 0.25-0.5Hz reflected the bottom boundary of the basin. Next we identified the subsurface structures using the proposed method. The basic features of the identified structures were similar to those of the previous study, but some of them were different. The reason of this discrepancy is the difference of the frequency range to evaluate the residual between observation and theory, and the difference of the main component of waves for microtremors (surface wave) and earthquake (body wave).

1. はじめに

地震動は震源特性・伝播経路特性・サイト増幅特性の3要素によって構成されていると考えることができ、サイト増幅特性は観測点固有のもので地震動に与える影響も大きくこれを詳細に把握することで地震動予測および被害予測の高精度化が見込まれる。このサイト増幅特性の把握とその要因である地震基盤以浅の地盤構造の同定するため、我々は拡散波動場理論に基づく手法を開発し日本国内の様々な地点で適用してきた。我々の用いた手法は地表1点の観測記録から適用可能であり、観測記録の持つ解析結果に対する拘束力が高いため、地盤構造に関する先験情報が無くとも地盤震動特性をよく反映した地盤構造を同定することができる。日本ほど密に地盤探査が行われていない諸外国ではこれらの特徴は有用であり、我々の提案する手法はそのような事前情報の少ない地域でのハザードマップ作製等に役立つと考えられる。よって本研究では海外での観測記録を用いて地盤構造を同定し、日本の観測記録をもとに構築された我々の提案手法の海外での適用性を検討する。

2. 対象地域と地盤震動特性の推定

本研究の対象地域にフランス南東部のグルノーブルを選定した。この地域はアルプス山脈の麓にあり Grenoble Alps 大学 ISTerre (地球科学研究

所) が置かれ、グルノーブル盆地の構造に関する調査研究がすでに幾度か行われており、我々の解析結果と比較・検討することができる。

図1にグルノーブルにある地震観測点を示す。グルノーブル盆地の内外含め広範囲をカバーするように観測点が置かれている。

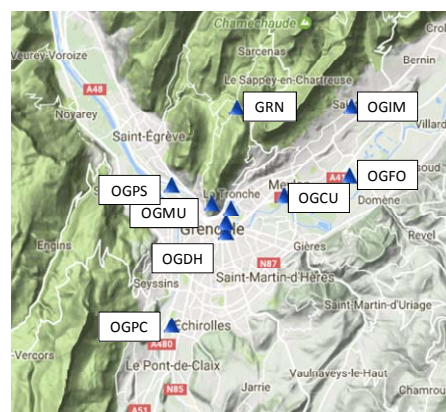


図1 地震観測点 (ESMより引用)

これらの観測点での地震動記録を ESM¹⁾を通じてダウンロードし、S波立ち上がり以降 40.96秒を用いて水平上下スペクトル比 (HVR) を計算し方位別に平均をとった。グルノーブル内の観測点の HVR を図2に示す。括弧内の数字は HVR の計算に使用した地震動数を示す。利用可能な地震数は多くとも12地震と絶対的な地震数が少なく、HVRは地盤震動特性の大まかな形を捉えているものの細

かな誤差が残っている。盆地中央部の OGDH は 0.3Hz 弱と 2Hz に顕著なピークを持ち深部と浅部の 2 か所に速度コントラストの大きい層が存在すると予想され、盆地北東部の OGFO は 0.3Hz のみに顕著なピークが存在することから速度コントラストの大きい層は深部のみと考えられる。盆地外の GRN は地震数が少なく十分に安定した HVR ではないが、他の観測点で見られたピークは見られず速度コントラストのない硬質な地盤上に存在すると考えられる。グルノーブルの観測点で得られた HVR を総括すると、盆地内部では低振動数域に盆地底面境界に関連したピークが見られ南から北に向けてピーク振動数は低くなり、盆地構造も南から北へ深くなるもしくは地盤の伝播速度が遅くなっていると考えられ、盆地外は硬質な地盤であることが予想される。

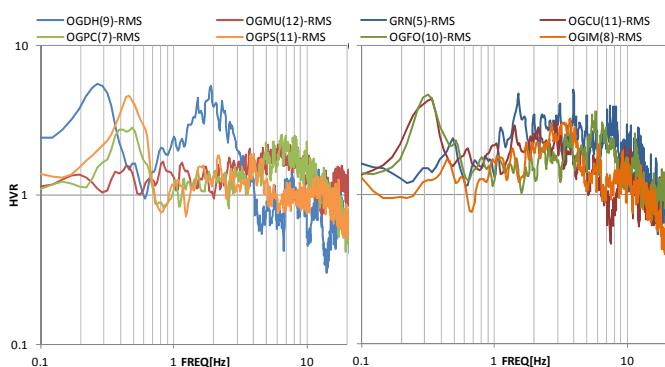


図 2 観測 HVR

3. 地盤構造同定

得られた観測 HVR を再現するような地盤構造を同定し、主に微動探査による位相速度分散曲線から推定した既往研究の地盤構造²⁾と比較を行う。

地盤構造の同定にはハイブリッドヒューリスティック法 (HHS)³⁾を用い、観測 HVR の 0.1Hz から 20Hz を再現するような構造を同定した。半無限地盤を含めた全 15 層のモデルを仮定し、各層の S 波速度、P 波速度、層厚を同定した。事前情報が無い場合を想定し地盤構造のパラメータに探査範囲を設けていないが、高コントラストの速度逆転層が生じ逆転層以深の情報が地表観測点までうまく伝達されない可能性があるため、それを避けるために速度の深さ方向の逆転が生じないように制限を設けている。どの同定結果も観測 HVR をよく再現するものが得られているが、GRN など目立ったピークが無く層数が多く必要でない観測点ではオーバーフィッティングぎみの結果となっている。

代表点として OGDH と GRN の同定結果と既往研究との比較を図 3 に示す。OGDH は浅部の速度コントラストは既往研究とよく対応しており、深部の速度コントラストでは同定結果の方が速度がやや遅く深さも深い、概形は同様のものが得られている。GRN では全体的に既往研究と全く違った結果が得られた。既往研究は表面波の卓越する微動を用いているのに対し我々の同定結果は実体波の多く含まれる地震動を用いており、それぞれの波動が強く反映する地盤構造の範囲が違うことから既往研究と我々の同定結果に差が生じたものと考えられる。また、既往研究では位相速度分散曲線を用いて地盤構造を同定しているがその周波数範囲は観測点によって異なり、OGDH は 1Hz から 10Hz と広い範囲で観測位相速度が得られているが GRN では 20Hz 以上の高振動数域でしか位相速度が得られず、地盤構造同定に用いた振動数範囲の差も同定結果の差に関係していると考えられる。

謝辞

本研究にあたり ESM サイトより地震観測記録を、Grenoble Alp 大学の Cécile Cornou 氏より同定地盤構造を提供いただきました。記して謝意を表します。

<参考文献>

Luzi L et al. (2016) Engineering Strong Motion Database, doi: 10.13127/ESM

Fabric H et al. (2017) Characterization of site conditions (soil class, VS30, velocity profiles) for 33 stations from the French permanent accelerometric network (RAP) using surfacewave methods, Bull Earthquake Eng, DOI 10.1007/s10518-017-0135-5

山中浩明 (2007) ハイブリッドヒューリスティック探索による位相速度の逆解析, 物理探査, 第 60 巻, 第 3 号, pp126-145

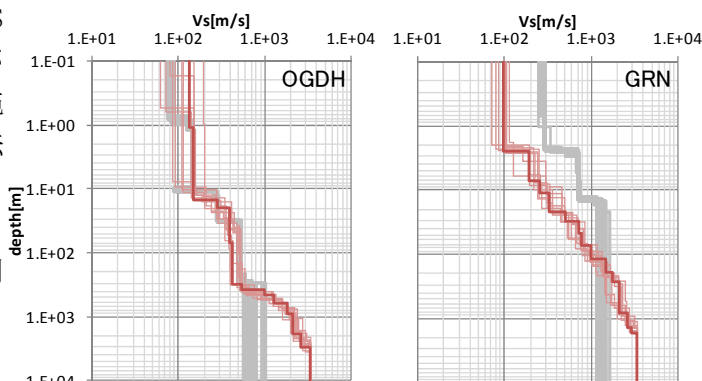


図 3 同定地盤構造比較