

KiK-net 益城観測点における表面波位相速度と見かけ比抵抗の同時逆解析 Joint inversion of Rayleigh wave phase velocity and apparent resistivity at KiK-net Mashiki station

○地元 孝輔・山中 浩明・是永 将宏・津野 靖士

○Kosuke CHIMOTO, Hiroaki YAMANAKA, Masahiro KORENAGA, Seiji TSUNO

The value of P-wave velocity is often assumed in the inversion analysis of phase velocity of Rayleigh wave observed using microtremor array exploration and surface wave method. This assumption generally works well because the P-wave velocity is less sensitive to Rayleigh wave phase velocity. However, for the exploration of near surface S-wave velocity structure, sometimes influence of P-wave velocity will be not negligible during the inversion analysis. We therefore applied joint inversion technique in order to estimate appropriate S-wave velocity structure by adopting appropriate assumption of P-wave velocity. We conducted microtremor array measurement and surface wave method to estimate Rayleigh wave phase velocity and electrical exploration to measure apparent resistivity at KiK-net Mashiki station. We used joint inversion of Rayleigh wave phase velocity and apparent resistivity adopting a different V_p - V_s relationship in an unsaturated layer. The resulting V_s profile showed good agreement with the previous studies and we observed significant drop of V_p value at near surface.

1. はじめに

微動アレイ探査や表面波探査におけるレイリー波位相速度の逆解析では、P 波速度(V_p)は、レイリー波位相速度に対する感度が相対的に大きくないため、S 波速度(V_s)との関係式により仮定することが多い。しかし、ごく表層の V_p は含水率によって大きく変化するため、レイリー波位相速度への影響が無視できない場合がある。そこで、電気探査を用いて見かけ比抵抗値を測定し、レイリー波位相速度との同時逆解析によって、 V_s および比抵抗モデルの推定を試みる。

2. KiK-net 益城観測点における観測

2017 年 12 月に、KiK-net 益城観測点が設置されている益城町辻の城公園において、レイリー波位相速度を推定するために、微動アレイ探査と表面波探査を実施した。また、見かけ比抵抗値を測定する電気探査を実施した。

微動アレイ探査では最大 12m と 4m のアレイを組み、10~20 分間の微動を測定した。表面波探査は 2m 間隔で 24 個のセンサーを配置し、両端と中央でハンマーによる上下加振を行った。電気探査では電極間隔が 1m から 25m までの間で抵抗と電圧を測定した。16m 以降では電位電極間隔を 1m とし、それまでは 0.4m で測定した。また 1~12m までは 2mA の電流を流し、16m 以降では

10mA の電流を流した。

3. レイリー波位相速度の推定

図 1 に、微動アレイ探査によるレイリー波位相速度と、表面波探査による位相速度の推定値を示している。微動アレイ探査では 20Hz までの位相速度を推定できるが、20Hz 以上の位相速度は、表面波探査によるものが適切と考えてレイリー波位相速度を抽出した。

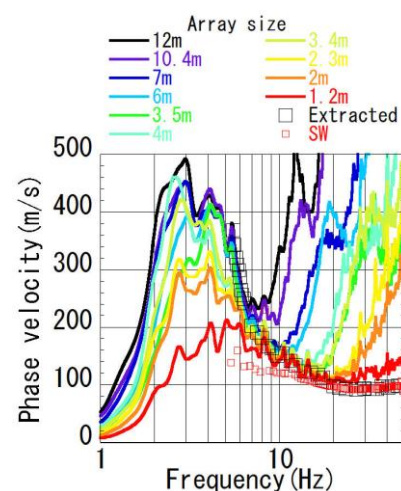


図 1. 微動アレイ探査(アレイサイズ 12-1.2m)と表面波探査(SW, 赤色□)により推定した位相速度。抽出したレイリー波位相速度を黒色□で示す。

4. 同時逆解析によるモデルの推定

推定されたレイリー波位相速度と、測定された見かけ比抵抗値との同時逆解析により、 V_s および比抵抗モデルの推定を行う。

同時逆解析では、平行成層での見かけ比抵抗の理論値と観測値との対数の差を観測値で除したものの二乗和と、レイリー波位相速度の理論値と観測値との差を観測値で除したものの残差二乗和の和を最小化することを目的として、ハイブリッドヒューリスティック探索法(山中, 2007)を用いた。

見かけ比抵抗の理論値は、水平成層でのシュランベルジャー配列を仮定し、Keoford, 1997のリニアフィルタ法を用いて計算した。

レイリー波位相速度の理論値の計算においては、地表付近には不飽和帯が存在している可能性があることから、飽和帯と不飽和帯で異なる V_p - V_s 関係式(Shofy, 2017)を用いた。

逆解析において、比抵抗と V_s の境界面は一致するとした。未知数は各層の比抵抗、S波速度、および層厚とした。

KiK-net 益城観測点のボーリングによれば、表層9mは火山灰質粘性土、その下層に6mの砂の層が存在する。さらに下層では軽石凝灰岩が18mの層を成している。砂の層から軽石凝灰岩の層の境界で実体波速度が大きく変化しており、 V_s は500m/sとなっていることから、この層を工学的基盤と考えるのが妥当であるとして、逆解析における探索範囲を設定した。

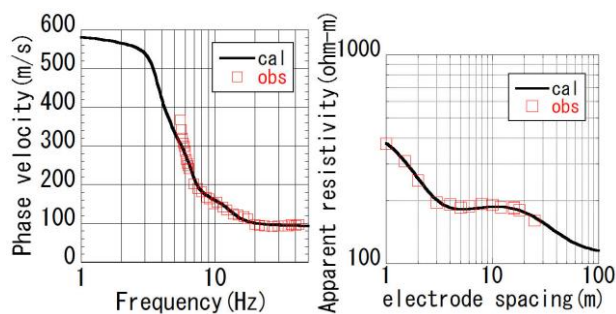


図2. レイリー波位相速度と見かけ比抵抗値

同時逆解析により推定された V_s 、比抵抗構造モデルを図3に示し、それによる理論値を図2に示している。理論値と観測値との整合性は、位相速度、見かけ比抵抗値ともに良い。1,2層目の V_s は、KiK-net 益城観測点(KMMH16)のPS検層結果よりも小さくなっており、微動アレイ探査(Chimoto et al. 2016)による結果と同じである。2層目の深さがPS検層よりも少し浅くなっている。これは、図2のレイリー波位相速度にみられると

おり、低周波数帯域の位相速度の一致度が低くなっていることから改善の余地がある。

1層目から2層目にかけて V_s に大きな変化は見られないものの、2層目の比抵抗が1層目の1/3程度になっていることから、この境界が地下水面であると考えられる。

なお、 V_s との関係式によって求められる V_p についても図3に示しているが、PS検層結果と異なる。これは、観測時期による変化も想定されることから、異なる時期に観測した結果も検討する必要があると考えている。また、他の V_p - V_s 関係式による検討も必要であると考えている。

重原ほか(2018)では、微動アレイ探査と電気探査の同時逆解析について報告している。本研究では、微動アレイ探査結果に加えて表面波探査による高周波数帯域の位相速度も逆解析に用いた。その結果、第1層目の V_s が重原ほか(2018)に比べて小さく推定される結果となった。

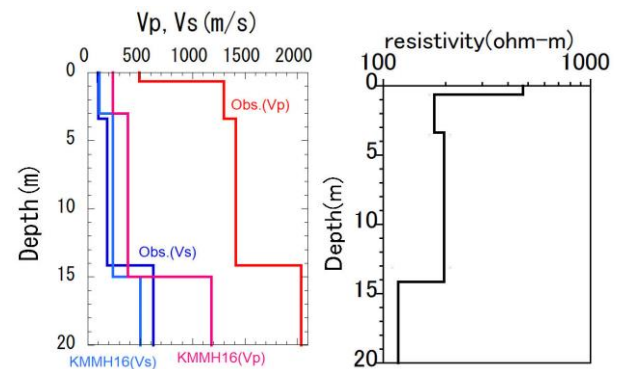


図3. 同時逆解析により推定されたS波速度と比抵抗構造モデル

5. まとめ

KiK-net益城強震観測点において、電気探査と微動探査および表面波探査によって得られた見かけ比抵抗とレイリー波位相速度の同時逆解析を試みた。推定されたS波速度構造は既往の研究結果と調和的であった。P波速度の大きさに関しては差がみられるものの、地表付近でのP波速度の大きな変化を捉えることができた。

謝辞

防災科学技術研究所によるKiK-net 益城観測点のボーリング結果を参考にしました。本研究は、東京大学地震研究所・京都大学防災研究所、拠点間連携共同研究プログラムの援助をうけました。観測および解析では東京工業大学の重原悠太郎君にご協力いただきました。