

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：82626

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2020

課題番号：19K23544

研究課題名(和文) 高密度地震観測網を用いた首都圏高解像度3次元S波速度構造モデルの構築

研究課題名(英文) Estimation of S-wave velocity model around Kanto basin by using MeSO-net

研究代表者

二宮 啓 (Nimiya, Hiro)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・研究員

研究者番号：40849923

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：首都圏を中心に設置されている稠密地震観測網の観測データのうち、人が感じられないほど微弱な振動(雑微動)を使って表面波を抽出し、表面波の伝播速度から首都圏およびその周辺の地下S波速度構造を推定した。本研究では、特定の周波数に着目することで表面波の減衰の影響を軽減し、細かい地下構造を反映できる高い周波数の表面波伝播速度を推定した。さらに、地下速度構造の推定精度を向上するため、振動の上下成分からレイリー波、水平成分からラブ波を抽出し、伝播速度を推定した。それぞれの波の伝播速度を用いて逆解析することで地下S波速度構造を推定した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地震発生時に大きな被害が予想される首都圏において、地震波の伝播を知るうえで重要なS波速度構造を精度よく推定することは、地震防災のために急務である。本研究では、首都圏地震観測網(MeSO-net)で観測された雑微動データを用いて、地震計間を伝播する表面波(レイリー波とラブ波)を合成し、その伝播速度から首都圏およびその周辺の3次元S波速度構造を推定した。また、表面波伝播速度を精度よく推定することは、3次元S波速度構造の高精度化のために重要である。

研究成果の概要(英文)：We estimated the subsurface S-wave velocity structure in and around the Tokyo metropolitan area by using the surface-wave phase velocities. Surface waves were extracted from weak vibrations which we cannot feel (ambient noise) by using the dense seismic observation network installed mainly in the Tokyo metropolitan area. In this study, the effect of surface wave attenuation was reduced by focusing on a specific frequency, and the surface wave velocity at a high frequency which can reflect the detailed subsurface structure was estimated. In order to improve the accuracy of the estimation of the subsurface velocity structure, Rayleigh and Love waves were extracted from the vertical and horizontal component of the vibration, respectively. The velocity structure of the subsurface S-wave was estimated by inverse analysis using the phase velocity of each wave.

研究分野：物理探査

キーワード：地震波干渉法 S波速度構造 表面波トモグラフィ 地震波

1. 研究開始当初の背景

近年、2観測点での観測波形の相互相関関数から観測点間を伝播する表面波を抽出する地震波干渉法が注目されている。表面波は一般に波長の短い高周波数の波ほど、地下の細かい構造を反映できる。Nimiya et al., (2020)は日本全土に設置されている高感度地震観測網(Hi-net)の観測記録から表面波の高周波成分(0.2~0.6Hz)を抽出し、位相速度の分散性を考慮した表面波トモグラフィ解析(Fang et al., 2015)と組み合わせることで中部日本の3次元S波速度構造を高解像度(水平2.5km、鉛直0.5km程度)で推定した。ただし、Hi-netの地震計は岩盤設置が基本で、堆積層の厚い首都圏では深さ3kmに設置されているため、首都圏の堆積層のS波速度構造の推定には難があった。また、Hi-net観測点は糸魚川静岡構造線周辺では例外的に高密度(5~10km間隔程度)に設置されているが、他地域の観測点間隔は15~20km程度と低密度である。高密度な地域では1Hzまでの高周波成分を抽出できたが、他地域では0.5Hz程度までしか抽出できず、速度構造推定の解像度を下げる要因となった。

首都圏地震観測網(MeSO-net)は、首都圏に2~3km間隔で約400台配置されている高密度地震連続観測網である。Hi-netよりも格段に高密度で設置深度は約20mと浅いため、申請者がHi-netに適用した手法で首都圏の堆積層のS波速度構造を高解像度で推定できると期待される。これまでの首都圏の3次元S波速度構造(地震本部等)は、微動等の水平/上下スペクトル(H/V)比や微動アレイ探査等による1次元データ、および反射法地震探査等による2次元データの内挿補間によって主に推定されており、クリギング等の内挿補間によって得られたS波速度の妥当性は不明である。観測点間を伝播する表面波を用いたトモグラフィ解析では、伝播する波動を説明する3次元S波速度構造を推定するため、地震動計算との親和性も高い。高密度なMeSO-netを用いて高周波成分を含む表面波トモグラフィ解析を行うことで、高い解像度の3次元S波速度構造を推定する意義は極めて大きい。

2. 研究の目的

本研究は、稠密に設置されたMeSO-netの観測データのうち、人が感じられないほど微弱な振動(雑微動)を使って観測点間を伝播する表面波を抽出し、その伝播速度を用いてトモグラフィ解析を行うことで、首都圏の3次元S波速度構造を高い解像度で推定する。細かい構造を反映する高周波数の表面波を抽出・活用することで、3次元S波速度構造の高解像度化を目指す。

3. 研究の方法

まず初めにMeSO-netに観測された雑微動データを用いて、観測点間を伝播する表面波を抽出した。次に、抽出した表面波の分散曲線を推定した。表面波は波長と同程度の構造に感度が高いため、波長の短い高周波数であるほど細かい構造を反映できる。一方で、高周波数の波は減衰しやすいことなどから安定したシグナルを得ることが難しい。そこで、合成した表面波を周波数領域に変換し、減衰の影響が含まれない周波数のみを用いて解析することで、低周波数から高周波数までの分散曲線を推定した(Ekström et al., 2009)。本研究では、雑微動データの上下動成分からレイリー波、水平動成分からラブ波を抽出し、それぞれの分散曲線を推定した。最後に得られた分散曲線を用いて逆解析を行い、3次元S波速度構造を指定した。本研究ではFang et al. (2015)のDirect surface-wave tomography method (DSurfTomo)を使用した。

また、より高い周波数の分散曲線を推定するために、上下動成分と水平動成分を組み合わせレイリー波分散曲線を推定する手法を開発した。

4. 研究成果

(1)レイリー波を用いて逆解析したS波速度構造
地震計の上下動成分を用いてレイリー波の位相速度を推定し、DSurfTomoを用いて表面波トモグラフィ解析を行った。その結果、東京湾北部から房総半島北部では広い範囲で低速度帯が観測された(図1)。これらの低速度帯は厚い堆積層を反映していると考えられる。しかし、1.2-1.6kmに着目すると、対象地域の北部から南西部にかけて線状の不自然な高速度帯が観測された。この高速度帯はおおよそ観測網に沿って分布していることから、観測点密度による分散曲線の推定精度の違いが影響していると考えられる。また、関東平野においてレイリー波は約0.3Hz以下で高次モードが卓越しており、深部に感度のある低周波数では高次モードの影響が強かったことも影響していると考えられる。

(2)ラブ波を用いて逆解析したS波速度構造

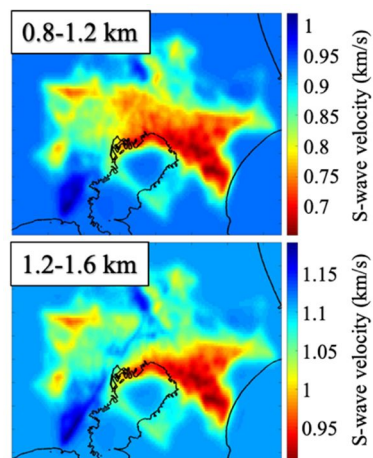


図1. レイリー波を用いて逆解析したS波速度構造

地震計の水平動成分を用いてラブ波の位相速度を推定し、DSurfTomoを用いて表面波トモグラフィ解析を行った。その結果、深度 1.0–1.5 km においては、東西方向に広がる S 波速度が 1.0 km/s 程度の低速度帯が房総半島北部で観測されている(図 2)。この低速度帯は、鈴木(2002)によるボーリングや物理探査データに基づいた下総層群と上総層群の分布に整合的であり、下総層群と上総層群の分布と層厚を反映していると考えられる。深度 2.0–2.5 km においては、S 波速度が 2.0 km/s 未満の低速度帯が房総半島中部の沿岸に沿って観測されている。また、関東平野の南西部において南北に伸びる低速度帯を観測している。これらの低速度帯は、Yamanaka and Yamada (2006)でも観測されており、基盤岩の深度分布に対応していると考えられる。本解析では、観測点間を伝播する表面波を用いて速度構造を推定しているため、これまで観測データの乏しかった東京湾内の速度構造も推定することができる。

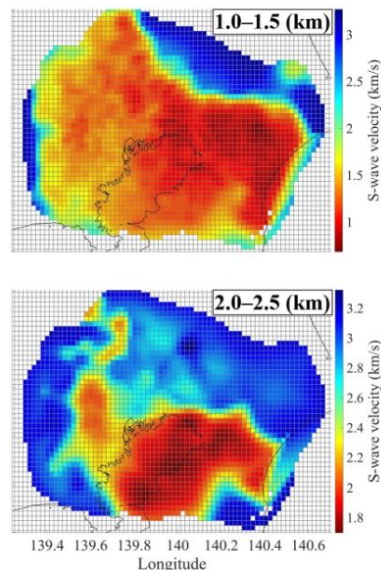


図 2. ラブ波を用いて逆解析した S 波速度構造

(3) 上下動成分と水平動成分を組み合わせたレイリー波分散曲線の推定

雑微動を用いて抽出した表面波の解析は、多くの場合、上下動成分を用いてレイリー波、水平動成分を用いてラブ波の分散曲線を推定する。本解析では、上下動成分と水平動成分の両方を用いた非対角成分を用いてレイリー波の位相速度を推定した(Haney et al., 2012)。減衰の影響を無視できる周波数(零点)において位相速度を推定する場合、非対角成分を用いたレイリー波の零点は、上下動成分のみを用いたレイリー波の零点を補間するように存在する。そのため、非対角成分と上下動成分を同時に用いることでレイリー波の分散曲線をより安定して推定することができる。本解析によって、上下動成分のみを用いて推定したレイリー波分散曲線よりも高い周波数分解能で安定したレイリー波分散曲線を推定することができた(図 3)。

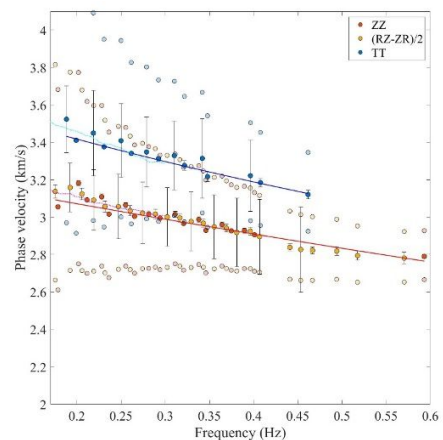


図 3. 非対角成分を加えた分散曲線の推定。上下動成分を用いたレイリー波分散曲線を赤丸、水平動成分を用いたラブ波分散曲線を青丸、非対角成分を用いたレイリー波分散曲線をオレンジ色の丸で表す。

<引用文献>

- Fang, H., Yao, H., Zhang, H., Huang, Y. C., and van der Hilst, R. D. (2015): Direct inversion of surface wave dispersion for three-dimensional shallow crustal structure based on ray tracing: methodology and application, *Geophysical Journal International*, 201(3), 1251-1263.
- Ekström, G., Abers, G. A., and Webb, S. H. (2009): Determination of surface-wave phase velocities across USArray from noise and Aki's spectral formulation, *Geophys. Res. Lett.* 36, L18301.
- Haney, M. M., Mikesel, T. D., van Wijk, K., and Nakahara, H. (2012): Extension of the spatial autocorrelation (SPAC) method to mixed component correlation of surface waves. *Geophysical Journal International*, 191, 189- 206.
- Nimiya, H., Ikeda, T., Tsuji, T. (2020): Three-Dimensional S Wave Velocity Structure of Central Japan Estimated by Surface-Wave Tomography Using Ambient Noise, *J. Geophys. Res.-Solid Earth*. 2020, 125.
- 鈴木宏芳 (2002): 関東平野の地下地質構造, 防災科学技術研究所研究報告, 63, 1-19.
- Yamanaka, H., and Yamada, N. (2006): Estimation of 3D S-wave velocity model of the Kanto basin, Japan, using Rayleigh wave phase velocity, *Bull. Earthquake Res. Inst. Univ. Tokyo*, 81, 295 – 301.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Hiro Nimiya, Tatsunori Ikeda, Takeshi Tsuji
2. 発表標題 Estimation of shallow 3D S-wave velocity structure by applying surface-wave tomography using MeSO-net
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 二宮啓, 池田達紀, 辻健
2. 発表標題 ラブ波を用いた表面波トモグラフィによる関東平野の3次元S波速度構造の推定
3. 学会等名 物理探査学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 二宮啓, 池田達紀, 辻健
2. 発表標題 MeSO-netを用いた表面波トモグラフィ解析による首都圏の堆積層の3次元S波速度構造の推定
3. 学会等名 物理探査学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 二宮啓, 吉見雅行
2. 発表標題 相互相関関数の非対角成分を用いたレイリー波分散曲線推定の安定化
3. 学会等名 物理探査学会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------