

DASと地震計上下動記録による常時微動表面波解析: 非等方入射におけるクロススペクトルの解析解と走時異常の見積もり

Ambient noise surface wave analysis using DAS and seismometer data: cross-spectrum and travel-time anomaly due to source heterogeneity.

*福島 駿¹、西田 究²、竹尾 明子²

*Shun FUKUSHIMA¹, Kiwamu Nishida², Akiko Takeo²

1. 東北大学 大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター、2. 東京大学地震研究所

1. Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University, 2. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

近年、海底ケーブルを用いたDistributed Acoustic Sensing (以下 DAS)により、海底における歪みを数m間隔で数十km長距離観測が行えるようになった。この稠密なDASデータに対して、spatial autocorrelation法(以下、SPAC法)を適用することにより、これまで推定することが困難であった、海域における堆積層・最上部地殻のS波速度構造を高分解能が実現した(e.g., Fukushima et al. 2022)。しかし、DASデータだけを解析に用いた場合、Rayleigh波に加えてLove波がcross-spectrumに混入し、Rayleigh波位相速度推定の精度が低下することが知られている(Nakahara et al. 2021, Fukushima et al. 2024)。そこで近年、DASと地震計上下動の記録を組み合わせたSPAC法が提案され(Fukushima et al. 2024)、Love波の影響を除外することで、従来のDASデータだけをを用いた解析と比較してRayleigh波の位相速度を高精度に推定が可能となった。先行研究(Fukushima et al. 2024)では、表面波が等方的に観測点へ入射した場合について、cross-spectrumの解析解を導出している。その一方で、実際のデータ、特に海岸から近い距離に敷設された海底ケーブルを用いたDASデータの場合では、表面波が非等方的に入射する状況が考えられる(e.g., Nishida et al. 2008, Fukushima et al. 2024)。しかしながら、表面波が非等方的に入射し、DASと地震計上下動記録を用いた場合のcross-spectrumの解析解は導出されていない。そこで、本研究では、表面波が非等方的な振幅でランダムに入射した場合のDASと地震計の上下動変位記録に対するcross-spectrumの解析解を導出した。本研究の定式化はNakahara et al. (2021)に従い、定式化を行なった。円筒座標系を考え、原点にDAS観測点を設置し、距離 r 離れた位置に地震計を配置した(添付図)。この時、DAS記録は任意の方向の軸歪みを記録し、また地震計は任意の方位角に設置した。さらに、Love波とRayleigh波は互いに無相関であると仮定した。入射する表面波の波動場は非等方的であり、方位角についてフーリエ級数展開を行った。その結果、 m をフーリエ級数の次数とした場合に、 m 次、 $m-2$ 次、そして $m+2$ 次の第一種Bessel関数がcross-spectrumへ寄与することがわかった。さらに、本研究では、導出したDASと地震計の上下動変位記録に対するcross-spectrumの解析解を用いて、source heterogeneityによって生じる走時異常について解析的な見積りを行なった。ここでは、Nishida et al. (2024)に従い導出を行なった、Bessel関数およびNeumann関数の漸近展開(Abramowitz et al. 1988)を用いた。そして、観測点間隔が波長よりも十分に長い場合を仮定した。以上の定式化により、DASと地震計の上下動変位記録に対するsource heterogeneityによって生じる走時異常は、

$$B''(\xi, \omega)/2k^R r B(\xi, \omega)$$

で示されることがわかった(ここで、 k^R はRayleigh波の波数、 r は観測点間距離、 B は表面波のintensity、 ξ は観測点の設置方向、 ω は角周波数をそれぞれ示す)。DASと地震計の上下動変位記録を用いた場合のsource heterogeneityによって生じる走時異常は、地震計の上下動記録だけをを用いた場合(Weaver et al. 2009, Nishida et al. 2024)と同じ大きさであることがわかった。実データへの応用を考えた場合には、入射方位角に関するフーリエ級数展開の次数によって決めるべきパラメータが異なるため、cross-spectrumの解析解から直接走時異常を見積もることは難しい。その一方で、本研究により導出した走時異常の解析解は、アレイ解析等を用いて観測可能である、入射する表面波の”intensity”とその2階微分だけで表現されるため、走時異常の

見積もりが可能である.

Top view

