

S-net 観測網で観測された地震記録を用いた地下構造推定
 Identification of underground structures using earthquake records obtained by S-net observation network

○長嶋史明・Yadab P. Dhakal・川瀬 博・仲野健一

○Fumiaki NAGASHIMA, Yadab P. Dhakal, Hiroshi KAWASE, Kenichi NAKANO

Japan has experienced damaging earthquakes generated by plate tectonics. Subduction earthquakes occur repeatedly in tens to hundreds years, thus improving estimation of human and physical damage by subduction earthquakes contributes to the disaster prevention and mitigation. We investigated underground structures and site amplification factors under S-net, which is a seafloor observation network for earthquakes and tsunamis along the Japan Trench. Horizontal-to-Vertical spectral Ratio of earthquake (EHVR) was obtained at all of 150 observation stations. EHVRs at the many of buried sites show sharp trough at higher than 3 Hz, and EHVRs at the most of unburied sites show a broad peak whose top is located at several Hz and the amplitude of EHVR decreases to 10 Hz or higher. Underground velocity structures were inverted from the observed EHVRs and their theoretical EHVRs showed good agreement with the observed EHVRs at all sites, respectively.

1. はじめに

日本はこれまでプレート運動によって引き起こされる大地震により多大な被害を被ってきた。内陸地殻内地震と比較して海溝型地震の活動間隔は短く、今後も継続的に発生するであろう海溝型地震による地震動や人的・物的被害の予測精度の向上は、日本の地震防災・減災の進展に大きく寄与するものと考えられる。

大規模な海域地震観測網として、北海道沖から房総半島沖までの太平洋海底に設置された S-net が 2016 年から運用を開始している。本研究では S-net で観測された地震動を用い、地震動の拡散波動場理論 (DFCe ; Kawase et al., 2011) に基づき S-net が敷設されている太平洋沖の地下構造を推定し、地下構造やそれから推定される増幅特性の空間分布を把握することを目的とする。

2. 観測水平上下スペクトル比

我々はこれまで S-net 内のいくつかの小さな領域での解析結果について報告してきたが、本報では S-net 全域の 150 観測点での解析結果をまとめる。S-net では陸上局から伸びたケーブルに観測装置を内蔵し、水深 1500m 以浅の領域では深さ 1m 程度の溝を掘りケーブルを埋設し、水深 1500m 以深ではケーブルは海底面上に置かれている。

DFCe に基づくと、地震動の水平上下スペクトル比 (EHVR) は地盤増幅特性の水平上下比と対応

すると解釈できる。そこで DFCe を適用するため、S-net で観測されている地震動を用いて EHVR を求めた。観測された地震動から、地震時のケーブルの回転などの影響を除くために 3 成分合成の PGA が 10Gal 以下のものを選び (Dhakal and Kunugi, 2023)、低振動数のパワーを確保するためにできるだけマグニチュードの大きいもの ($M > 4.5$) から S 波の到達が確認できるものを 20 地震以上選択する。ケーブルの回転、傾斜、方位を補正し NS、EW、UD 方向の地震動を求め、S 波以降 40 秒を用いてフーリエスペクトルを計算し、バンド幅 0.1 Hz の Parzen 窓で平滑化後に水平上下比を算出し、方位ごとに幾何平均をとった。

150 点の EHVR を概観して、水深 1500m 以浅の埋設観測点では図 1(a)のように鋭い谷のある形状のものが多かったのに対し、水深 1500m 以深の観測点では図 1(b)のように数 Hz がピークとなり 10 Hz 以上までなだらかに減少していく形状のものが多いため、もし地震計が深さ 1 m の地中に存在するため、もし地震計の上に埋め戻された土が非常に柔らかく V_s が極低速であれば、海底面から地中地震計への反射波が数 Hz 以上の振動数に存在する谷形状の要因と考えることができる。しかし、全ての埋設観測点の EHVR に谷形状が存在するわけでもなく、谷形状の要因については引き続き検討を行う。また、本報では NS-EW 方向のみの比較ではあるが、方位差が見られる観測

点の多くは水深 1500m 以深である。Sawazaki and Nakamura (2020)ではこれらの方位差をケーブルと海底面間の不十分なカップリングやケーブルを伝わるガイド波が要因としているが、地下構造の不整形性の影響等も考えられるので、方位依存性についても引き続き検討していく必要がある。

3. DFCeに基づく地下構造同定

2章で得られた観測 EHVR を用いて、DFCe に基づき地下構造を同定した。2章で述べたように、観測 EHVR の数 Hz 以上に埋設観測点特有の性質と思われるものや方位依存性が表れている。本報ではこれらの特徴については考慮せずに比較的深部の地下構造を同定するため、0.1-3.0 Hz の範囲で観測 EHVR (RMS) と理論 EHVR の残差を最小化する。地下構造モデル探索にはハイブリッドヒューリスティック法 (山中, 2007) を用い、周波数および EHVR 振幅の双方を対数軸で評価し残差を計算する。初期地下構造モデルは 10 層+地震基盤 ($V_s=3400$ m/s) とし、地震基盤を除く 10 層の V_s 、 V_p 、層厚を同定変数とする。 V_s および V_p は深さ方向に漸増するものとし、 V_p は水の V_p である 1500 m/s より大きいと仮定する。

同定結果の一例として、埋設観測点について S2N01、非埋設観測点について S6N20 を図 2 に示す。リファレンスとして NIED J-SHIS の深部地盤

構造モデル ($V_s=3400$ m/s の層を地震基盤とする) の理論解と比較する。S2N01 では同定結果は観測 EHVR をよく再現しており、J-SHIS モデルの理論 EHVR も観測 EHVR から大きくはずれていないものとなっている。同定された $V_s \cdot V_p$ 構造はともに J-SHIS モデルと全体の傾向は似ているものの細部で異なる結果が得られた。一方、S6N20 では同定構造は観測 EHVR をよく再現しているが、J-SHIS モデルは大きく異なる形状を示した。同定 $V_s \cdot V_p$ 構造も J-SHIS モデルとは異なり、 V_s 構造は速度コントラストの高い層境界が J-SHIS モデルよりも浅くなることで 0.3 Hz 強のピークを再現しかつ複数層で構成することでピークの幅や高次モードをなだらかにしている。

4. まとめ

S-net の全観測点において、設置状況に関連する特徴を除く振動範囲 (0.1-3 Hz) を対象に、DFCe に基づき EHVR から地下構造を同定した。観測 EHVR をよく再現する地下構造が同定された。

参考文献

Kawase et al. (2011), BSSA; 防災科学技術研究所、S-net、<https://doi.org/10.17598/nied.0007>; Dhakal and Kunugi (2023), JDR; Sawazaki and Nakamura (2020), EPS; 山中 (2007)、物理探査

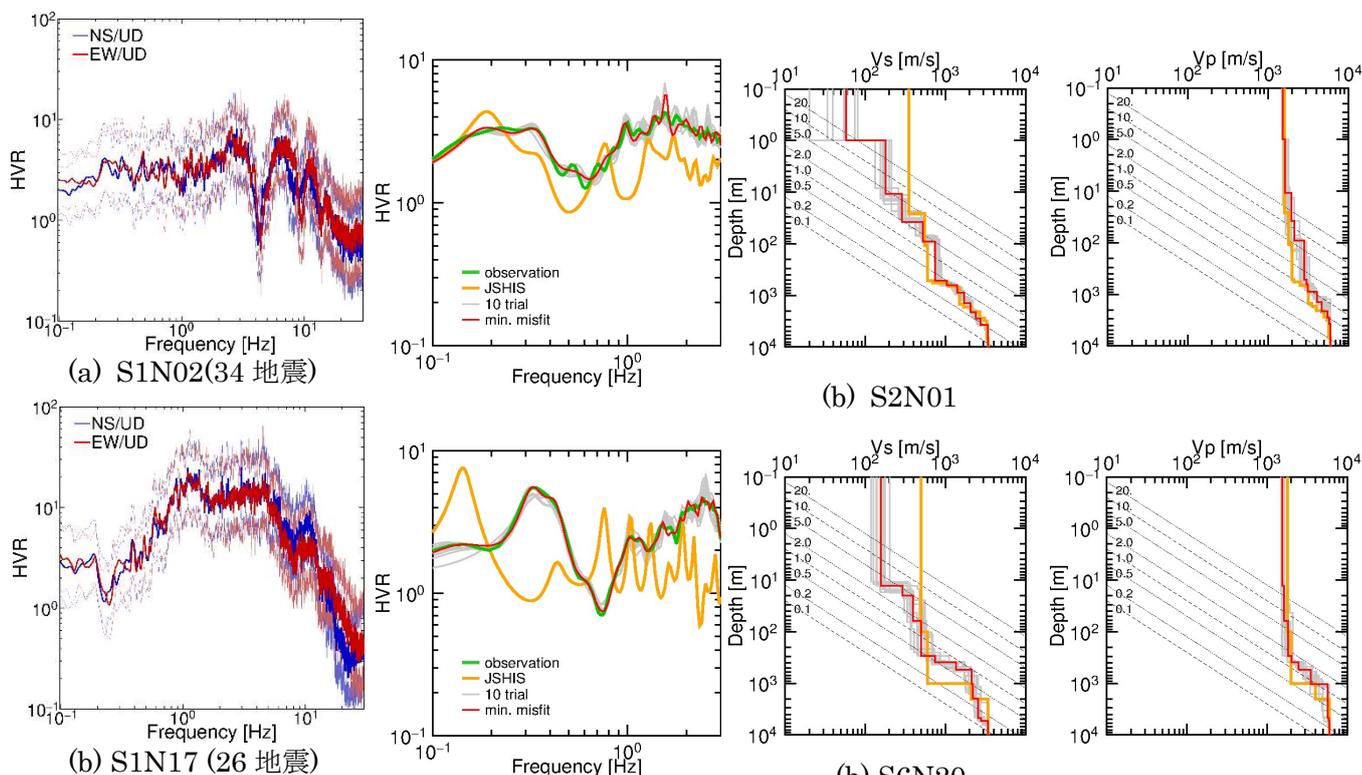


図 1 観測 EHVR 例

図 2 同定結果例