

静岡県の強震観測網を用いた震源特性, 伝播経路特性, サイト増幅特性評価  
 Evaluation of Source, Propagation Path, and Site Amplification Effects  
 Using Strong-Motion Seismograph Networks in Shizuoka Pref.

○島津颯斗・岩田知孝・浅野公之・染井一寛

○Hayato SHIMAZU, Tomotaka IWATA, Kimiyuki ASANO, Kazuhiro SOMEI

Source, propagation path, and site amplification effects in Shizuoka prefecture are separated by using the spectral inversion method (e.g. Iwata and Irikura, 1986). We assume different  $Q_s$ -values of the propagation paths in the western ( $1/Q_A$ ) and the eastern ( $1/Q_B$ ) areas with a border of the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line. The estimated  $1/Q_s$  values are modeled as  $Q_A = 245.4f^{0.38}$ ,  $Q_B = 74.1f^{0.96}$ , which are comparable to those of previous models in our study area, respectively. We found that stress drops, which were estimated from source effects of the events, depend on their focal depths. The obtained site amplification effects are compared to those by other studies and theoretical amplification factors using underground velocity models in the study area, such as J-SHISv2 model and the model by Wakai *et al.* (2019) so as to discuss the performance of these models.

### 1. はじめに

地震動を構成する震源特性, 伝播経路特性, サイト増幅特性を高い精度で理解することは, 観測された地震動の生成メカニズムを理解するために必要不可欠であり, 将来起こり得る強震動予測の観点からも重要である. 静岡県地域の強震動予測では, 想定南海地震の震源断層も近いことから揺れが大きいことは確実で, 加えて, 厚い堆積層や軟弱地盤の地域で増幅される揺れの特徴を正確に把握することは, 減災につながる. 上記地図は地下速度構造モデルを用いていることから, モデルによる揺れの推定の妥当性は観測された地震記録を用いて調べていく必要がある.

本研究では, スペクトルインバージョン法 (e.g., 岩田・入倉, 1986) によって, 静岡県地域の強震観測点での震源特性, 伝播経路特性, サイト増幅特性を分離し, 各々得られた特性を既往研究と比較を行った上で, 得られたサイト増幅特性の特徴や, 既往地下速度構造モデルの妥当性の検討を行うとともに, 分離された震源特性の特徴について調べた. 加えて, データセットに含まれた強震時の地盤の非線形応答の可能性についても検討した.

### 2. 使用したデータセットと解析手法

観測点は K-NET, KiK-net, JMA 観測点に SK-net 観測点を加え, 従来の本地域の観測点の約 3 倍の観測点となる全 166 点を使用した. 使用した地震

は, 静岡県周辺で 1996 年 5 月から 2019 年 7 月までの期間で発生し, 震源距離  $\leq 150\text{km}$ , 水平各成分で  $\text{PGA} \leq 200\text{gal}$ , 同一地震トリガー地点数  $\geq 3$  を満たす  $3.0 \leq M_{JMA} \leq 6.0$  の範囲の記録と 2009 年駿河湾の地震と 2011 年静岡県東部の地震の記録を含む 501 イベントであり, 地震-観測点ペア総数は 8440 記録である. 基準観測点は KiK-net の SZOH24 とし, 解析対象の全周波数帯(0.5-10Hz)でサイト増幅特性 2 と仮定した. また, プレート境界等の静岡県地域の複雑な地殻構造を考慮し, 糸魚川-静岡構造線を目安に東経  $138.625^\circ$  で東西ブロックに分割し, ブロックインバージョンを行った.

### 3. 応力降下量と震源深さ依存性

まず, 分離した震源特性の低周波側のフラットレベルから求めた地震モーメントと F-net のそれを比較したところ, 概ね整合性が見られ, 震源特性の分離に信頼性があると考えた. 求めた地震モーメントと, 観測変位震源振幅スペクトルを Brune (1970) の  $\omega^{-2}$  理論変位震源振幅スペクトルとフィッティングして得たコーナー周波数から, 各地震の応力降下量を推定した. 得られた応力降下量について分析を行った結果, 震源深さ依存性が強く見られた(図 1)が, 地震規模や震源メカニズムに対する明瞭な依存性は見られなかった.

#### 4. 東西ブロックにおける伝播経路特性

静岡県東西ブロックにおける各伝播経路特性の分離によって得られた $Q$ 値を、1.0–10Hzの周波数帯域においてモデル化した結果、西部では $Q = 245.4f^{0.38}$ 、東部では $Q = 74.1f^{0.96}$ となり、糸魚川–静岡構造線を境に東西の地殻構造が大きく異なることを見出すことができた。

#### 5. サイト増幅特性による地下構造モデルの検証

分離したサイト増幅特性は、先行研究と重複する観測点では、概ね似通った周波数特性が得られた。得られたサイト増幅特性を当該地域の地下構造モデルである J-SHISv2 深部地盤モデル(藤原・他, 2012) や、東海地域の浅部・深部統合地盤モデル(Wakai *et al.*, 2019)の各 S 波速度構造モデルに基づく S 波の理論増幅率と比較した結果、観測サイト増幅特性は、後者のモデルの増幅率と堆積層観測点でよい対応を示している(図 2)ことから、浅部の低速度層を含む詳細なモデル化が定量的な強震動予測に不可欠であることが明らかとなった。

#### 6. サイト増幅特性と微地形区分

次に若松・松岡 (2013)の微地形区分によるサイト増幅特性のグループ化を行い、微地形毎のサイト増幅特性の特徴をまとめた。その結果、松岡・他 (2005)の微地形区分毎の平均 AVS30 値と 1.0-4.0Hz における観測サイト増幅特性の平均値との間に概ね負の相関が見られた。

#### 7. 地盤の非線形挙動

最後に、強震時のサイト増幅特性の特徴を調べた。本研究で求められた観測サイト増幅特性は、弱震動、つまり地盤が線形応答する範囲のものと考えられるので、2009 年駿河湾の地震と 2011 年静岡県東部の地震で  $PGA200 \text{ cm/s}^2$ 以上の強震動が得られた観測点の強震時のサイト増幅特性と比較したところ、地盤の非線形応答の特徴と考えられるサイト増幅特性の卓越周波数の低周波側への移動が 14 観測点で見られた。この非線形挙動を示す観測点は AVS30 の小さい軟弱な地盤上に多く見られた。

#### 8. まとめ

静岡県下の強震観測記録を用いて、スペクトルインバージョン法により震源、伝播経路、サイト増幅特性を分離した。1)データセットに含まれる

地震の震源深さに幅があることから、応力降下量の深さ依存性が見られた。2)糸魚川–静岡構造線の東西において、伝播経路の減衰特性の違いが見出された。3)得られたサイト増幅特性と、浅部・深部地下速度構造モデルによる理論増幅率との対応が見られた。4) S 波速度の小さい表層観測点では、 $PGA200 \text{ cm/s}^2$  以上の場合に非線形応答を示したと考えられる観測点が見出された。

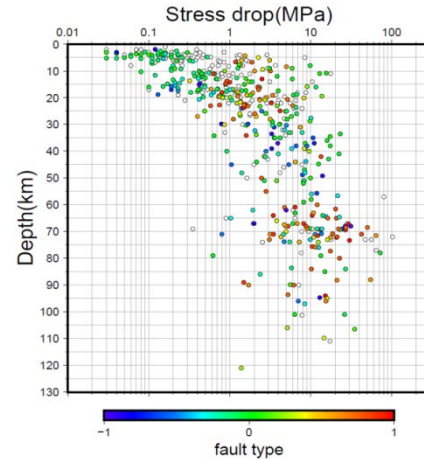


図 1: 推定した応力降下量と震源深さとの関係。Shearer *et al.* (2006)の指標による断層タイプによって、色分けしている。

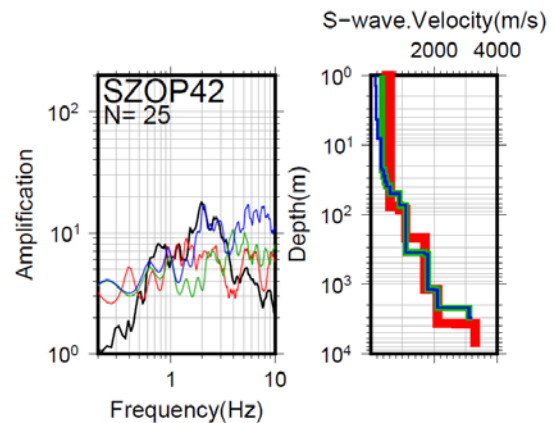


図 2 : Wakai *et al.* (2019)による浅部・深部地盤モデルに基づいた理論増幅率とサイト増幅特性との比較例。黒線は観測サイト増幅特性、赤線は J-SHISv2 深部地盤モデル(藤原・他, 2012)、緑線・青線は Wakai *et al.* (2019)による深部及び浅部・深部地盤統合モデルによる理論増幅率。2–3Hz 帯の特徴的なピークが再現されていることが分かる。

#### 謝辞

本研究は、国立研究開発法人防災科学技術研究所の強震観測網 K-NET, KiK-net, 首都圏強震総合ネットワーク SK-net, 気象庁の強震波形記録を、広帯域地震計観測網 F-net により決定された震源メカニズム解と地震モーメント量を、地震調査研究推進本部の全国 1 次地下構造モデルの物性値を、震源情報として、気象庁一元化震源カタログをそれぞれ使用させて頂きました。関係者、関係機関の皆様 に記して感謝致します。