

北陸地方の強震観測点におけるサイト増幅特性とそれを用いた速度構造モデルの推定  
 Estimation of Velocity Structure Models Based on the Site Amplifications  
 at Strong Motion Stations in the Hokuriku District

○染井一寛・浅野公之・岩田知孝・大堀道広・宮腰 研

○Kazuhiro SOMEI, Kimiyuki ASANO, Tomotaka IWATA, Michihiro OHORI, Ken MIYAKOSHI

The source, propagation path, and site amplification factors were separated from the strong motion waveform data observed in the Hokuriku district, Japan, by the spectral inversion technique. Using the separated site amplification factors at 185 strong motion stations, we estimated the 1D layered S-wave velocity structure models from the seismic bedrock to the ground surface at each station based on the J-SHIS deep sedimentary velocity model adding with several shallow low-velocity layers. The thickness of each layer was optimized by the GA search. The theoretical amplification factor calculated from the estimated model reproduced well the separated site amplification factor in 0.2-10 Hz. We found the deep layers should be modified from the J-SHIS model at several stations located around Wakasa Bay. The estimated shallow low-velocity layers ( $V_s < 0.6$  km/s) are necessary to explain the separated site amplification in the high frequencies.

## 1. はじめに

日本国内では、強震動予測のための深部地盤モデルとして、全国規模の3次元深部地盤モデル(J-SHIS モデル: 藤原・他, 2012, JIVSM モデル: Koketsu et al. 2012) が構築されている。これらのモデルは、多様な地球物理学的探査データを内外挿、統合して作成されている。そのため、データとして使われていないサイト増幅特性のような強震観測点での観測記録に基づいた情報を用いて、モデルの説明力を検証し、高度化することは、信頼性の高い強震動予測に向けて不可欠、重要な取り組みである。

また、深部地盤モデルだけでなく、浅部地盤に対しても、経験的地盤増幅率に頼らず、観測記録を説明する現実的な速度構造モデルを与えることが、強震動波形やスペクトルの予測には必要である。例えば、浅部・深部統合地盤モデル(Senna et al. 2018)のような地震基盤から地表までの速度構造モデルから計算される1次元理論増幅率は、深部地盤モデルのみからなるそれよりも広帯域にサイト増幅特性を再現でき、モデルの説明力が向上したことが示されている(染井・他, 2019)。

観測記録からスペクトルインバージョンによって分離された観測点のサイト増幅特性(観測サイト増幅特性)は、これまでも観測点直下の1次元速度構造モデルの推定や検証に用いられている

(例えば、三浦・他, 2014)。本研究で対象とする北陸地方では、微動アレイ探査(福井平野: 山中・他, 2000, 金沢平野: 神野・他, 2003)や重力データといった物理探査情報を基にJ-SHISモデルが構築されているが、強震観測点の観測サイト増幅特性を用いた検証やモデルの改良は必ずしも十分に進められていない。そこで、本研究では、北陸地方の地盤モデルの検証と高度化を目指し、各観測点に対して、深部層だけでなく浅部層も含むモデル設定を行い、広帯域(0.2-10 Hz)の観測サイト増幅特性を説明可能な地震基盤から地表までの1次元速度構造の推定を行った。

## 2. 観測サイト増幅特性

スペクトルインバージョンはSomei et al. (2016)と同様の手続きで実施し、データセットは2004年から2021年までに北陸地方周辺で発生した201地震( $M_{\text{JMA}}$ : 3.1-5.5)、北陸地方に展開するK-NET、KiK-net、F-net、各県の市町村に設置されている震度計(自治体震度計)及び気象庁震度計、更に観測点カバレッジを考慮し追加した岐阜県内のKiK-netの計185観測点で、地震-観測点のペア数の合計は4,299である。ここでは、硬質岩盤点であるF-netのSRNを基準観測点とし、この地点のサイト増幅特性を地表面効果の2と仮定した。得られた0.2-10 Hzの観測サイト増幅特性

のうち、低周波数側（約 0.2–2 Hz）は北陸地方に分布する堆積平野内の観測点で大きく、外で小さい、という特徴が見られた一方で、高周波数側（約 2–10 Hz）は平野内外といった違いよりも局所的に異なる特徴が見られた。

### 3. 速度構造のモデル化

速度構造モデルは、観測点直下の J-SHIS モデル ( $V_s$ : 600–3400 m/s) を深部層として、浅部 11 層 ( $V_s$ : 50–550 m/s) を追加したものを初期モデルとした。速度構造モデルの深部から浅部までの各層層厚を未知パラメータとして、モデルから鉛直入射を仮定して計算される S 波の理論増幅率が観測サイト増幅特性に最も一致するパラメータを探索した。浅部は 0 から 100 m の範囲を 0.5 m 間隔で、深部は J-SHIS モデルの初期層厚の ±1000 m の範囲を 10 m 間隔で、遺伝的アルゴリズム (GA) を用いて最適な層厚をそれぞれ決定した。GA の 1 世代あたりの個体数は 30 とし、800 世代まで進化過程を繰り返した。進化過程の中での交叉率と突然変異率は、それぞれ 0.85、0.005 とした。さらに、第 1 世代の個体集団を変えて 5 通りの試行を行った。

推定された速度構造モデル（推定モデル）から計算した理論増幅率は、0.2–10 Hz の観測サイト増幅特性を良く説明することができた。推定モデルの深部層は、初期モデルとした J-SHIS モデルから改良され、例えば、若狭湾周辺の地震基盤深度は J-SHIS モデルよりも深く推定された。この傾向は、地震動 H/V スペクトル比から地盤構造を推定した安井・他（2014）の結果とも整合している。一方で、深部層の上に付加した浅部層は、地点ごとにその寄与する周波数範囲は異なるものの、低い場合は、1 Hz 付近から高周波数側の観測サイト増幅特性を説明するために必要な地点もあった。また、推定した浅部層は、K-NET や KiK-net の観測点で公開されている PS 検層のモデルとも整合的であった。いずれの観測点においても、J-SHIS モデルから計算される理論増幅率よりも推定モデルの方が、観測サイト増幅特性を良く再現し、特に、浅部層を新たにモデル化したことによって、説明力が広帯域に向上した速度構造モデルを得ることができた。

謝辞

国立研究開発法人防災科学技術研究所 K-NET,

KiK-net, F-net 広帯域強震計, 気象庁計測震度計, 及び福井県, 石川県, 富山県の震度情報ネットワークシステムの強震記録を使用しました。

参考文献

- 藤原・他（2012）, 防災科学技術研究所研究資料, No. 379.
- 神野・他（2003）, 物理探査, 56(5), 313–326.
- Koketsu et al.（2012）, Proc. 15WCEE, Paper no. 1773.
- 三浦・他（2014）, 日本地震工学会論文集, 14(5), 31–49.
- Senna et al.（2018）, J Disaster Research, 13(5), 917–927.
- 染井・他（2019）, 日本地震工学会論文集, 19(6), 42–54.
- Somei et al.（2016）, Proc. 5th ESG, P105B
- 山中・他（2000）, 地震 2, 53, 37–43.
- 安井・他（2014）, 土木学会論文集 A1, 70(4), 628–643.