

白馬村神城地区における微動アレイ探査による S 波速度構造の推定

愛知工業大学 学生会員 ○山田 純平
愛知工業大学 正会員 倉橋 奨
愛知工業大学 正会員 横田 崇
岡山大学 非会員 松多 信尚

1. 背景・目的

2014年11月22日に、糸魚川-静岡構造線活断層帯の一部を構成する神城断層を震源断層とした長野県北部地震(Mj6.7)が発生した。この地震では、NGN005 (K-NET 白馬) で震度5強が観測された。また、震央から約5km南方に位置し、神城断層が近くに通る堀之内・三日市場地区では建物倒壊などの被害が発生した。この堀之内・三日市場地区付近では、被害要因の把握のため微動探査や余震観測が実施されているが、河合他(2019)¹⁾は、被害の要因として周辺の地域と比べて木造家屋に影響の大きい周期1~1.5秒の成分がやや大きいことと、同地区の建物耐震性の低さの両者が重なったためと示している。

一方で、図1に示す同地区の西側に走る国道付近では建物被害の情報がなく、被害が小さかった可能性がある。この地区から堀之内・三日市場地区までの地下構造の変化がどのようなものであったかの調査は十分には調査されていない。そこで本研究では、図1における地点において微動アレイ観測を実施し S 波速度構造を推定した。



図1 震央と観測点の位置関係



図2 観測点図2

2. 微動アレイ探査の観測概要

図2、3に示す国道と堀之内・三日市場地区を結ぶ

キーワード 微動アレイ探査, S 波速度構造, 長野県北部の地震, 神城断層,
連絡先 〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草 1247 TEL0565-48-8121

直線上で連続的な S 波速度構造を構築するために、当該地域を 60m 間隔の 10 地点で微動アレイ観測を実施した。各観測では、中心点を除く三角形アレイの頂点で微動を観測する 3 点アレイと、中心点を含む 4 点アレイで観測を行った。なお、アレイ半径は、5m、6m、30m、100m とした。観測には、記録器：JU410 (白山工業株式会社) と速度計：VSE15D (株式会社東京測振) を用いた。

3. 分散曲線の算出

分散曲線の算出には、CCA 法³⁾を用いた。CCA 法は、①中心点に観測点が不要、②低周波数領域での分解能が低下しないため、小さいアレイ半径においてより大きい波長域まで解析可能という特徴がある。

算出された分散曲線の一例を図4、図5左に示す。国道側(西側)である SS01 点(図4)と堀之内・三日市場地区側(東側)である SS07 (図5)の分散曲線を比較すると、SS01 では 1~4.5Hz の間の位相速度が低く、地盤構造の違いが示唆される結果となった。また、この変化は西側から東側にかけても同様に確認されている。

4. S 波速度構造の推定

4.1 逆解析の概要

算出された分散曲線を遺伝的アルゴリズム(以下、GA)に基づいて逆解析し、S 波速度構造を推定した。最適モデルは、式1に示す観測分散曲線と理論分散曲線の残差(R)が最小となるモデルとした。

$$R = \sum \frac{(Obs_i - Syn_i)^2}{Obs_i \times Syn_i} \quad i = \omega \quad \text{式 1}$$

ここで、は観測値、は理論値を表す。逆解析に用いる初期 S 波速度構造モデルは、原山他(2015)⁴⁾によるものを用い、探索パラメータは、層厚のみとし、P 波速度、S 波速度、密度は固定した。なお、SS01~SS06 については、より最適な逆解析結果を得るために、初

期モデルにはない最浅層に S 波速度 80m/s の層を追加している。

4. 2 逆解析の結果

図 4、図 5 に SS01 と SS07 点の分散曲線と S 波速度構造を示す。なお、図 4 に $V_s=80\text{m/s}$ の層を追加しなかった場合の逆解析結果 (点線) を加えて示している。

SS01 の結果より、 $V_s=80\text{m/s}$ の層がない場合では、3~4Hz において観測分散曲線と理論分散曲線が一致しないのに対し、層を追加することにより全周波数帯でよく一致した結果が得られた。

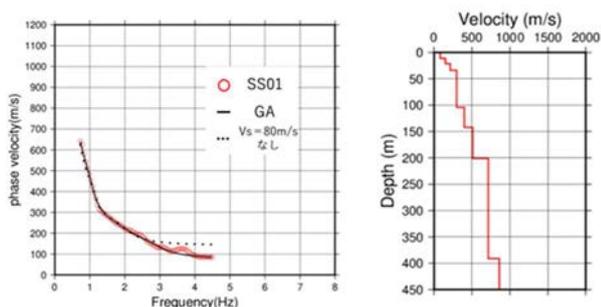


図 4 SS01 の GA の結果
分散曲線 (左)、S 波速度構造 (右)

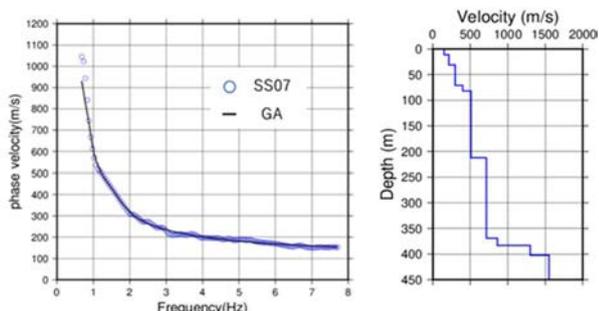


図 5 SS07 の GA の結果
分散曲線 (左)、S 波速度構造 (右)

5. 対象地点の 2 次元 S 波速度構造モデル

SS01 と SS07 に示すとおり、観測状況により得られた分散曲線の位相速度および周波数範囲は異なった。分散曲線は、S 波速度構造の深さと関係があるため、推定された S 波速度構造の層数が観測点毎に異なった。推定された観測点毎の層数と $V_s=80\text{m/s}$ の層の有無を表 1 に示す。

結果的に、全観測点で共通する層は 6 層目までとなった。図 6 に当該地点の西 (国道側) から東 (堀之内・三日市場地区) にかけての 6 層目までの 2 次元 S 波速度構造モデルを示す。この結果、西から東に向かって、SS01 から SS04 まではほぼ水平成層構造であるが、SS04 以東では最下層から 2 層が徐々に浅く

なる結果となった。また、SS06 より以西では最浅層に 80m/s の軟弱層があることがわかった。

表 1 層数適応範囲表

観測点	SS01	SS02	SS03	SS04	SS05	...
$V_s=80$ の層の有無	有	有	有	有	有	...
層数適応範囲	1~8	1~8	1~8	1~8	1~7	...
SS06	SS07	SS08	SS09	SS10		
有	無	無	無	無		
1~6	1~9	1~9	1~9	1~9	1~9	

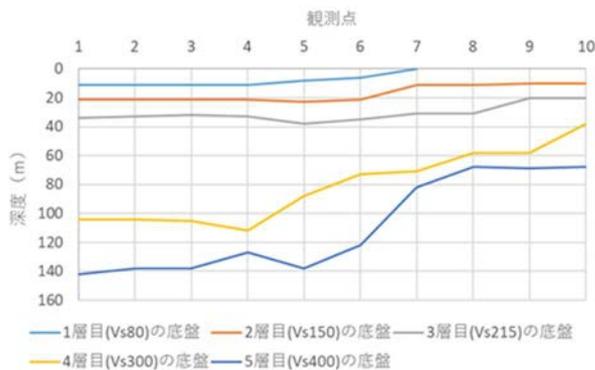


図 6 2 次元 S 波速度構造モデル

6. 結論

2014 年長野県北部の地震で顕著な被害のあった堀之内・三日市場地区から西側において、地盤構造の変化を把握するため微動アレイ探査を行い、S 波速度構造の推定を行った。以下に結果をまとめる。

- ①当該地域の西側から東側にかけて分散曲線が徐々に変化する結果が得られた。
- ②得られた分散曲線から逆解析により S 波速度構造を求めた結果、SS06 から西部の観測点では、最浅層に $V_s=80\text{m/s}$ の層が存在する。
- ③2 次元 S 波速度構造モデルを作成したところ、東側に向かうにつれて層が浅くなる結果を得た。

謝辞

本研究は科学研究費助成事業 挑戦的研究 (萌芽) 19K21665 (代表: 松多信尚) の支援を受けました。記して感謝申し上げます。

参考文献

- (1) 河合他 (2019)、2014 年長野県北部の地震における堀ノ内地区の地震動レベルの推定、日本地球惑星科学連合 2019 年大会、SSS13—P21
- (2) 長他 (2008)、極小アレイにおける新しい微動探査法: 浅部地盤平均 S 波速度の簡便推定、物理探査 第 61 巻第 6 号、pp457—468
- (3) 原山他 (2015)、白馬村神城地区、微動アレイ探査による地下探査、信州大学緊急調査報告書