

微動観測記録に基づく横手盆地の推定地盤構造の増幅特性評価  
The Amplification Factor Evaluation from Subsurface Structure of the Yokote Basin  
Based on Microtremor Observation Data

○佐藤啓太・松島信一・松下隼人・増田峻介・吾妻崇・野澤貴

○Keita SATO, Shinichi MATSUSHIMA, Hayato MATSUSHITA, Shunsuke MASUDA, Takashi AZUMA, Takashi NOZAWA

During the 1896 Rikuu Earthquake, the area near the southern part of Yokote-Bonchi-Toen fault zone was greatly damaged, despite being distant from the focal region. In order to investigate the relationship between the subsurface structure in the area, which is now Yokote City, and the heavy damage during the 1896 Rikuu Earthquake, we performed microtremor measurements in the Yokote basin to model the subsurface structure and conduct ground motion simulation to evaluate the amplification characteristics. As a result, we found that the bedrock is deeper in the west of Yokote City and the amplification is larger in the area.

### 1. はじめに

観測される地震動は地盤構造の変化に大きく影響されることが知られている。本研究対象地域である秋田県の横手盆地では、1896年陸羽地震の際に震源断層である横手盆地東縁断層帯北部から離れた、横手盆地中部（現横手市付近）まで被害の大きい地域があったが（図1）、この原因として盆地中央部で地震基盤深さが深くなっていることが考えられる。

そこで本研究では、常時微動観測結果から地盤構造を推定し、スペクトルエレメント法（SEM）<sup>1)</sup>を用いて地盤増幅特性の評価を行った。

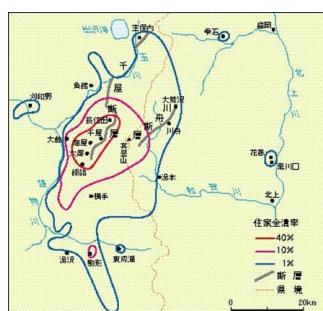


図1 陸羽地震による住家全壊率<sup>2)</sup>

### 2. 常時微動観測の概要

常時微動観測を行った地点を図2（左）に示す。黄色の点は単点観測を行った地点で、ピンク色の点で示されているのはアレイ観測を行った地点である。アレイ3の最大半径サイズのアレイのみ速度計を用い、その他の地点では加速度計を用いて観測を行った。

### 3. 常時微動観測結果

観測によって得られたデータから、40.96秒の小区間を50%オーバーラップさせて観測時間分の区間を切り出し、区間毎に微動の水平上下スペクトル比（MHVR）を計算してその平均をとった。このとき、NS/UD、EW/UDはそれぞれ別々に計算している。また、交通振動等のノイズによる影響を避けるため、振幅の二乗和平均が大きい区間は除外した。MHVRから読み取った1Hz以下でのピーク振動数を図2（右）に示す。

横手市周辺や盆地北部の地点におけるピーク振動数が低くなっており、それらの地点では深い構造となっていることが推測できる。

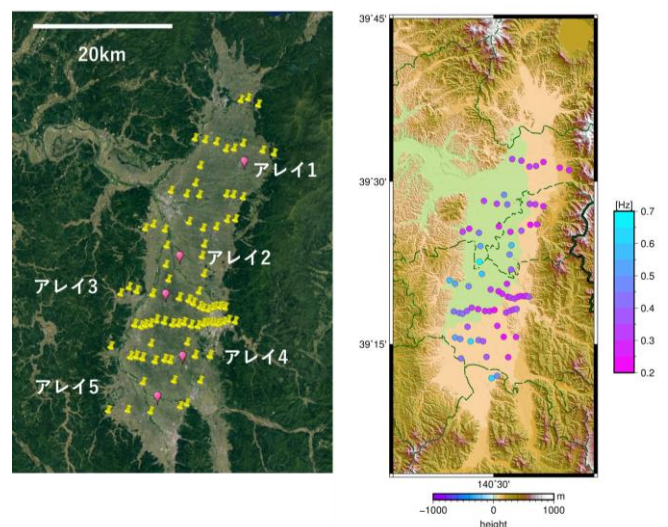


図2 観測点図(Google Earthに加筆) (左)とMHVRのピーク振動数分布(基盤地図数値標高<sup>3)</sup>を使用) (右)

#### 4. 地盤構造モデルの作成

まず、K-NET 横手<sup>4)</sup>と J-SHIS 深部地盤地下構造モデル<sup>5)</sup>を参考に層構造モデルを作成した(表 1)。ただし、層 2 の  $V_s$  は層 1 と層 3 の中間となるような値を設定し、層 1~3 の  $V_p$ 、 $\rho$  は  $V_s$  から Ludwig et al. (1970) の関係式<sup>6)</sup>より算出した。次にアレイ 3、4 において、理論位相速度分散曲線<sup>7)</sup>および理論 MHVR<sup>8)</sup>が観測したものに近づくような 1D 地盤構造モデルを構築した。そして、この地盤構造モデルを基に、単点観測点においても観測 MHVR のピーク振動数に理論 MHVR のピーク振動数が近づくように地盤構造の推定を行った。その際、1 次ピークはアレイの構造の層 3~層 9 について、各層の層厚比を固定した上で層厚を変化させることで、2 次ピークは層 1、層 2 の層厚を定義することによってピークを再現した。

表 1 層構造モデル

	$V_s$ [m/s]	$V_p$ [m/s]	$\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]
層 1	130	700	1.42
層 2	350	1585	1.69
層 3	560	1901	1.86
層 4	1100	2500	2.15
層 5	1400	3000	2.25
層 6	1700	3500	2.30
層 7	2100	4000	2.40
層 8	2700	5000	2.50
層 9	3100	5500	2.60
地震基盤	3300	5700	2.70

推定した 1D 地盤構造と方位依存係数<sup>9)</sup>、および重力図<sup>10)</sup>を参考に盆地境界(地震基盤深さ 0m)を定め、これを考慮して推定した 1D 地盤構造を GMT の surface 関数で補間することにより 3D 地盤構造を作成した。

#### 5. 増幅特性評価

EFISPEC3D<sup>1)</sup>を用いて、推定した 3D 地盤構造の増幅特性を評価した。ただし、層 1 の物性値を層 2 と同値としている。入力用モデルの作成には CUBIT<sup>11)</sup>を用いた。領域は経度緯度で 140.17/140.83/38.97/39.83 の範囲とし、メッシュサイズは、深さ 20000m 以深は 5000m、以浅は 1667m、盆地内は 185m の有効振動数 1.89Hz とした。このモデルにスペクトル振幅  $1\text{m}\cdot\text{s}$  のデルタ関数を変位として、深さ 20000m から EW 方向に平面波入射をした。有効振動数以上の影響を除くた

め、出力結果に 1Hz のローパスの 4 次の Butterworth フィルターをかけている。PGV[m/s] と基盤深さコンターを図 3 に示す。

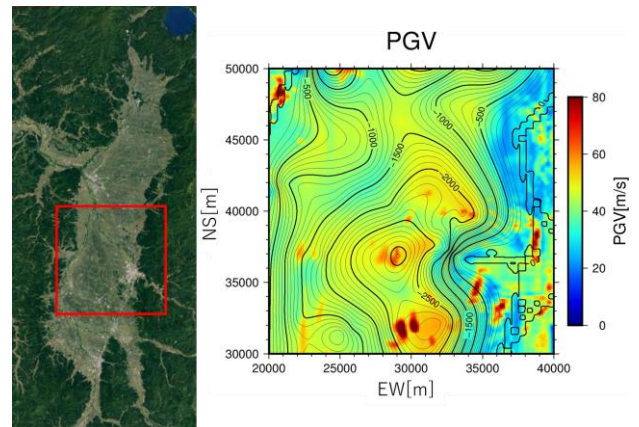


図 3 PGV と基盤深さコンター

#### 6. おわりに

推定地盤構造で深い構造となっている横手市の西側で PGV が比較的大きくなっていた。今後は、陸羽地震のシミュレーションを行うことで、被害分布の再現ができるかどうかを検証する。

#### 謝辞

本研究の一部は、拠点間連携共同研究「詳細地盤構造と活動セグメントの新たな解釈に基づく歴史地震被害の断層モデル構築に関する研究」の一環として行った。また、本研究の一部は JSPS 科研費 JP16K06573、防災研の国際交流・国際共同研究の助成を受けた。微動観測の際には、浜辺亮太氏、溝上永純氏、中本幹大氏、Ye Ting 氏、小林弘和氏の協力を得た。ここに記して感謝の意を表す。

#### 参考文献

- 1) De Martin, F(2010): Verification of a Spectral-Element Method Code for the Southern California Earthquake Center LOH.3 Viscoelastic Case, 2) 地震本部: 日本の地震活動<追補版> <https://www.hp1039.jishin.go.jp/eqchr/eqchrfrm.htm>, 3) 基盤地図情報ダウンロードサービス: <https://fgd.gsi.go.jp/download/mapGis.php?tab=dem>, 4) 防災科学研究所: 強震観測網データ <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>, 5) J-SHIS: 深部地盤データ <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>, 6) Ludwig, W. J. et al.(1970): Seismic Refraction, 7) 工学院大学久田研究室: 成層地盤におけるグリーン関数及び正規モード解を計算する Fortran プログラム <http://kouzou.cc.kogakuin.ac.jp/Open/Green/>, 8) F. J. Sánchez-Sesma et al.(2011): A theory for microtremor H/V spectral ratio: application for a layered medium, 9) Matsushima et al.(2016): DIRECTIONALLY DEPENDENT H/V SPECTRAL RATIOS OF MICROTREMOR S AT ONAHAMA, FUKUSHIMA, JAPAN, 10) 産業技術総合研究所: 重力データベース <https://gbank.gsj.jp/gravdb/>, 11) Sandis National Laboratories: CUBIT <https://cubit.sandia.gov>