

## 震度分布からみた明治三陸地震津波の強震動の特徴 Characteristic of Strong Motion in Sanriku Tsunami of 1896 by the point of view of seismic intensity distribution

相澤 幸治<sup>1\*</sup>  
AIZAWA, Koji<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 気象庁地震火山部管理課

<sup>1</sup> Administration Division, Seismology and Volcanology Department

明治29年(1896年)6月15日に発生した明治三陸地震津波は、表面波などの地震動の大きさから推定される地震の規模に比べ津波の規模が大きい「津波地震」であると考えられている(Kanamori, 1972; 阿部, 1989)。

明治三陸地震津波の震度分布は2つの報告がある。中央气象台(1896)の等震度分布図では、東北北部を中心に弱震、関東南部から北海道にかけての広い範囲を微震としている。大森(1901)は、等震度線と観測した震度とを示し、等震度線は弱震部と微震部に分けて中央气象台(1896)と同様の分布を示しているが、弱震部に強震が報告された地点を示している。今回、気象庁本庁に保管されている地震調査原簿に記載されている地点の震度と大森(1901)の図中の地点の震度を対照すると、数点の相違を除き同じことが分かった。このため大森(1901)を基本として、観測された震度階の分布について検討を行った。東北地方北部では、北上山地では微震が、北上河谷帯、小川原低地および脊梁山地西側に弱震、強震の地点が多い。震度は震源からの距離による減衰が明瞭ではない。また、震度分布と深部地盤の一次固有周期(中央防災会議、2008; 横田ほか、2010)を重ね合わせると、強または弱を観測した地点は深部地盤構造の一次固有周期が2~3秒以上の地域に分布し、微の地点は1~2秒以下の地域に多い。

地震調査原簿や大森(1901)は、明治三陸地震津波の揺れの性質について「緩慢」「緩」と表現している。野田ほか(2000)は、人間は、振動の様子について、周期1.5秒以上の揺れについては「ゆっくり」と表現するとしている。このため、明治三陸地震津波は少なくとも周期1.5秒以上の周期成分が卓越していたと考えられる。東北地方北部で震度階が大きな地点は平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震における長周期地震動階級(相澤ほか、2014)が相対に大きい地点と類似する。このため、長周期地震動階級の計算に用いる絶対速度応答スペクトルについて、渡辺(1998)の震央位置を用い、Dhakal(2013)、気象庁(2014)の手法を用いて、マグニチュードを変化させ、周期毎に距離減衰特性を調べた。その結果、マグニチュードが7.6以上、周期5秒以上場合に、絶対速度応答スペクトルと震度階の距離減衰の特徴が近いことが分かった。平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の強震波形を周期5秒でカットオフして計測震度を計算すると、東北地方北部では概ね震度2から3となり、北上山地に比べて脊梁山地西側で震度が大きくなる。

以上の結果から、明治三陸地震津波における震度は、観測された地震動の性質と合わせ、周期5秒程度以上の長周期地震動による体感を示していると考えられる。

キーワード: 震度, 長周期地震動, 津波地震, 強震動

Keywords: Seismic Intensity, Long-term Period Ground Motion, Tsunami Earthquake, Strong Motion

## 大規模シミュレーションによる沈み込み帯地震からの短周期表面波の再現性検討 Reproducing the short-period seismic surface waves from subduction zone earthquakes based on large-scale simulation

岡元 太郎<sup>1\*</sup>; 竹中 博士<sup>2</sup>; 原 辰彦<sup>3</sup>; 中村 武史<sup>4</sup>; 青木 尊之<sup>1</sup>

OKAMOTO, Taro<sup>1\*</sup>; TAKENAKA, Hiroshi<sup>2</sup>; HARA, Tatsuhiko<sup>3</sup>; NAKAMURA, Takeshi<sup>4</sup>; AOKI, Takayuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京工業大学, <sup>2</sup> 岡山大学, <sup>3</sup> 建築研究所, <sup>4</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup>Tokyo Institute of Technology, <sup>2</sup>Okayama University, <sup>3</sup>Building Research Institute, <sup>4</sup>JAMSTEC

The seismic-wave propagation from shallow subduction zone earthquakes is strongly affected by the heterogeneous structure: there are the thick layers with low-seismic wave velocities, such as the oceanic water and the sedimentary layers, and these layers are separated with three-dimensionally irregular interfaces. These heterogeneities affect both the excitation and propagation of the seismic waves. Therefore they must be considered in generating the synthetic waveforms for the waveform analysis of the earthquake sources and structural heterogeneities, otherwise the analysis could result in erroneous solutions [1,2]. In this paper we study the effect of the structure of the Japan trench on the strong-motion seismic waveforms, especially the surface waves, from a shallow subduction zone earthquake in connection with the analysis of the 2011 Tohoku-Oki earthquake (Mw9.1). We selected an small event (2003/11/1, Mw5.8) because this event occurred in the source area of the 2011 Tohoku-Oki earthquake, and has a similar mechanism (inter-plate thrusting) as that of the 2011 Tohoku-Oki earthquake. The strong-motion records (K-NET, KiK-net) were integrated to obtain velocity components. We assumed a three-dimensional structure model for the Japan trench by compiling models for topography [3], sediments [4], crust, and subducting plates [5,6]. We applied a GPU-accelerated finite-difference program developed by ourselves [7,8]. We used the TSUBAME-2.5 supercomputer in Tokyo Institute of Technology for the finite-difference computation. By using the 3D structure model, the strong-motion seismograms were well reproduced for a period band of 12-40 s. For periods shorter than around 10 s, however, the misfit of surface waves was large: the amplitudes of the synthetic surface waves were smaller than that of the observations. That is, the excitations of the short period surface waves from shallow earthquakes were not sufficient in the assumed 3D structure model. As an experiment we reduced the S-wave velocities of the oceanic sediments by 30 % and re-computed the synthetics. However, the fit between the observed and synthetic waveforms were not improved. We will discuss these results and present findings based on further experiments (e.g., results by modifying the thickness of the sediments).

### References

- [1] Okamoto, T. and Takenaka, H., *Advances in Geosciences*, **13** (Solid Earth), p.215-p.229, World Scientific Publishing, 2009.
- [2] Okamoto, T. and Takenaka, H., *Earth Planets Space*, **61**, e17-e20, 2009.
- [3] Kisimoto, K., *Geological Survey of Japan, Open-file Report*, No. 353, 2000.
- [4] Fujiwara, H. et al., *Technical Note of the National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention*, No.337, 2009.
- [5] Baba, T. et al., *Abstr. Japan Geoscience Union Meet.*, S111-006, Makuhari, Japan, 2006.
- [6] Nakamura, T. et al., *Abstr. Seism. Soc. Japan*, P1-06, Hiroshima, Japan, 2006.
- [7] Okamoto, T. et al., *Earth Planets Space*, **62**, 939-942, 2010.
- [8] Okamoto, T. et al., *GPU Solutions to Multi-scale Problems in Science and Engineering*, 375-389, Springer-Verlag, 2013.

Keywords: subduction zone earthquake, waveform modeling, short period wave, GPU computing

## 「全国地震動予測地図 2014年版～全国の地震動ハザードを概観して～」の公表について On National Seismic Hazard Maps of Japan 2014 edition

地震調査研究推進本部 事務局<sup>1\*</sup>  
JISHINHONBU, Jimukyoku<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 文部科学省

<sup>1</sup> Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology

地震調査研究推進本部地震調査委員会は、活断層で発生する地震と海溝型地震の長期的な発生確率を評価するとともに、いくつかの震源断層を対象に強震動を予測し、公表してきた。それらに基づき、2005年3月に「全国を概観した地震動予測地図」を公表し、以来、毎年評価の改訂を行いその結果を公表してきた。2009年7月には全面的な改訂を行い、名称を「全国地震動予測地図」に変更した。

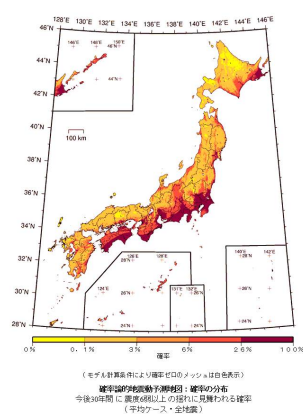
2011年も全国地震動予測地図 2011年版を公表する予定であったが、平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震が発生し、確率論的地震動予測地図<sup>磯</sup>について解決すべき多くの課題が指摘されたことなどにより、公表を見送り、その作成手法の基本的な枠組みの有効性を確かめるとともに、指摘された課題の検討を開始した。それらの検討を踏まえて作成したモデルに基づいた確率論的地震動予測地図は、「今後の地震動ハザード評価に関する検討～2011年・2012年における検討結果～」、「今後の地震動ハザード評価に関する検討～2013年における検討結果～」として、それぞれ2012年、2013年に公表した。

2014年も引き続き課題の検討を行うとともに、モデルの作成を行ってきた。このたび、これまでに行った検討結果を踏まえた確率論的地震動予測地図の作成が完了したため、「全国地震動予測地図 2014年版～全国の地震動ハザードを概観して～」(以降、2014年版)を公表する。

※日本とその周辺で発生する地震の位置・規模・発生間隔などに基づいて、各地点がどの程度の確率でどの程度揺れるのかなどを計算し、地図に示したものの。

キーワード: 全国地震動予測値図 2014年版, 地震動ハザード, 地震調査委員会

Keywords: National Seismic Hazard Maps of Japan 2014 edition, seismic hazard, Earthquake research committee



## 関東堆積盆地の地震波速度構造モデルと長周期地震動シミュレーション Simulation of long-period ground motion using 3D structure model of the Kanto Basin

吉本 和生<sup>1\*</sup>; 武村 俊介<sup>1</sup>; 鍛冶川 謙吾<sup>1</sup>; 増田 啓<sup>1</sup>; 玉置 大志<sup>1</sup>; 北澤 楽奈<sup>1</sup>; 小林 憩加<sup>1</sup>  
YOSHIMOTO, Kazuo<sup>1\*</sup>; TAKEMURA, Shunsuke<sup>1</sup>; KAJIKAWA, Kengo<sup>1</sup>; MASUDA, Kei<sup>1</sup>; TAMAKI, Taishi<sup>1</sup>;  
KITAZAWA, Rana<sup>1</sup>; KOBAYASHI, Keika<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 横浜市立大学

<sup>1</sup>Yokohama City University

### はじめに

首都圏における長周期地震動の正確な評価のためには、関東堆積盆地の精緻な地震波速度構造モデルが求められる。本研究では、近年構築された関東堆積盆地の地震波速度構造モデル（例えば、SBVSM: 増田・他, 2014; Takemura et al., 2015）を用いて中規模地震についての長周期地震動シミュレーションを実施し、主に関東堆積盆地の北部及び西部で観測された長周期地震動（周期 4-8 秒）の再現性について検討した。

### 差分法による長周期地震動シミュレーション

2004年10月27日に新潟県中越地方で発生した地震（深さ 11 km, Mw 5.8）と2013年2月25日に栃木県北部で発生した地震（深さ 8 km, Mw 5.8）について、3次元差分法による長周期地震動シミュレーションを行った。計算領域は、震源域及び関東平野北部を含む  $201.6 \times 127.5 \times 60 \text{ km}^3$  の領域で、水平方向に 0.15 km、鉛直方向に 0.075 km で離散化した。発震機構解には F-net による CMT 解を採用し、震源には点震源モデルを仮定した。地震モーメントの値は岩盤点における観測地震動の振幅を利用して調整した。長周期地震動シミュレーションは、SBVSM と JIVSM (Koketsu et al., 2008) に加えて、SBVSM に堆積盆地端部における局所的な S 波速度構造の推定結果（武村・他, 2014）を取り入れたモデル（以下、SBVSM2）についても実施し、観測された長周期地震動の再現性を比較した。SBVSM 及び SBVSM2 の堆積層以深の構造については、JIVSM による地震基盤形状、Moho 面形状、海洋プレートの上面形状を仮定した。

### 長周期地震動シミュレーションの結果

SBVSM を用いた計算結果は、JIVSM による計算結果と比較して、堆積盆地端部の一部の観測点を除いて観測された長周期地震動の振幅や発現時刻などの特徴をより良く再現した。さらに、堆積盆地端部の地震波速度構造を改善した SBVSM2 では、関東堆積盆地の北端部で観測された長周期地震動の再現性に一段の向上が見られた。この結果は、武村・他 (2014) の手法による堆積盆地端部の地震波速度構造モデルの精緻化により、堆積盆地端部での表面波の励起・伝播特性を実用的に正確に評価できる可能性を示している。その一方で、堆積盆地端部の地震波速度構造モデルが精緻化されていない関東堆積盆地西縁（埼玉県西部）における長周期地震動については、観測記録の再現性があまり高くないことが確認された。学会発表では、SBVSM 及び SBVSM2 の特徴と現状の問題点について詳しく紹介するとともに、堆積盆地端部における地震波速度構造と表面波の励起・伝播特性の関係についても説明する。

### 謝辞

本研究では防災科学研究所の K-NET/KiK-net 強震記録ならびに F-net の CMT 解を利用させていただきました。また、首都圏強震動総合ネットワーク SK-net の強震記録を使用しました。地震動シミュレーションには東京大学地震研究所の計算機システムを利用させていただきました。記して感謝いたします。

キーワード: 長周期地震動, 関東堆積盆地, 地震動シミュレーション

Keywords: long-period ground motion, Kanto Basin, simulation of seismic ground motion



## 首都圏の地震動応答継続時間の面的分布に関する検討 Study on Spatial Distribution of Response Duration Time of Earthquake Motions in Tokyo Metropolitan Area

新井 健介<sup>1\*</sup>; 石井 透<sup>1</sup>; 平田 直<sup>2</sup>  
ARAI, Kensuke<sup>1\*</sup>; ISHII, Toru<sup>1</sup>; HIRATA, Naoshi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 清水建設, <sup>2</sup> 東京大学  
<sup>1</sup> Shimizu Corporation, <sup>2</sup> University of Tokyo

### 1. 背景と目的

石井 (2012) は、地震動の継続時間の周期特性に注目し、これを定量評価するための新たな地震動評価指標として応答継続時間スペクトルを定義・提案した上で、東北地方太平洋沖地震とその前震・余震・誘発地震の際に東京都江東区越中島で得られた複数の観測記録のスペクトルを求めてその特性を定量評価し、検討した。特に周期 1 秒以上の長周期地震動の継続時間は、短周期地震動や今まで考えられていた値よりも著しく長くなったり狭帯域でピークを持ったりしていることが明らかになった。また、震央方向の深い地下構造の違いが長周期表面波の伝播特性に違いをもたらし、主に観測記録の長周期成分に反映されたと推定した。特に長周期地震動の振幅・継続時間の特性には深い地下構造を反映した方位依存性が含まれると考え、多くの良質の観測記録に基づく検討の必要性を指摘した。

この課題に取り組むためには一地点での記録による検討では限界があり、面的な検討が必要となる。首都圏地震観測網 (MeSO-net) では、首都圏の 300 以上の観測点において広帯域・長継続時間の記録が面的に得られている。そこで、新井・ほか (2014) は、MeSO-net による東北地方太平洋沖地震とその前震・最大余震を含む計 14 地震の広域・広帯域・長継続時間地震観測記録を用い、応答継続時間スペクトルを算出し、その特性を検討した。引き続き本報では、特に長周期地震動の時刻歴・応答スペクトル・応答継続時間スペクトルの特性とその空間変動について、深い地下構造の変化との関係、震央の方位依存性や震源深さとの関係などについて検討する。

### 2. データと解析手法

本報では、新井・ほか (2014) が検討した首都圏地震観測網 (MeSO-net) の記録の中から 2011 年 3 月 11 日から 2011 年 4 月 12 日までの計 6 地震の記録の速度応答スペクトル SV [cm/s] および速度応答継続時間スペクトル TSV [s] を検討対象とする。この中には、2011 年東北地方太平洋沖地震とその最大余震の記録も含まれる。TSV のパラメータは、石井 (2012) や新井・ほか (2014) と同じく、減衰定数 5%、パラメータ  $p_1 = 0.03$ 、 $p_2 = 0.95$  である。MeSO-net の観測点の中から複数の測線を選び、それに沿ったスペクトル特性の変化と地下構造の変化を対比させ、考察する。考察には、防災科学技術研究所の地震ハザードステーション J-SHIS の深い地下構造モデルを参照する。

### 3. 結果

首都圏の地震動の応答継続時間スペクトルは、深い地下構造の影響により、空間的に変化している。応答継続時間スペクトルの性状は、地震基盤が浅い構造が比較的単純な地点では特にやや長周期の狭帯域で比較的単純なピークを持つ場合が多いが、地震基盤が浅い構造が多層で複雑化するにつれて複数のピークを持つように見える。また、同一地点でも、地震規模や震源距離だけでなく、震央の方位や震源深さ等に応じて応答継続時間スペクトルの性状が異なり、伝播する表面波の性状を反映していると推定される。

#### 謝辞:

本研究では、文部科学省研究委託事業「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」および「都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト」による首都圏地震観測網 (MeSO-net) の記録を用いた。

#### 参考文献:

石井 透 (2012): 日本建築学会構造系論文集, 第 77 巻, 第 676 号, pp.843~850, 2012.6  
新井健介・ほか (2014): 日本地震学会講演予稿集, 2014 年度秋季大会, S16-P19, 2014.11  
防災科学技術研究所: 地震ハザードステーション J-SHIS; <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>

キーワード: 東京, 地震動, 継続時間, 表面波, 地下構造

Keywords: Tokyo, Earthquake Motion, Duration, Surface Wave, Structure

## 強震動の継続時間と変位振幅を用いた地震規模決定の可能性 Possible quantification of earthquake size using strong motion duration and displacement amplitude

原辰彦<sup>1\*</sup>

HARA, Tatsuhiko<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 建築研究所 国際地震工学センター

<sup>1</sup> IISEE, BRI

Hara (2014) showed the correlation between strong motion duration and duration of high band-pass filtered tele-seismic P waves. In this study, we investigated the possibility to quantify earthquake sizes using strong motion durations and displacement amplitudes referring to Hara (2007), who showed that it is possible to determine magnitude for huge earthquakes using high frequency energy radiation durations and displacement amplitudes from tele-seismic P waves. We used horizontal components of strong motion seismograms from the KiK-net borehole stations for nine large earthquakes that occurred in and around Japan since 2003, which were retrieved and processed by Hara (2014). We obtained displacement records by integration of strong motion seismograms and measured amplitudes after applying high-pass filter with the corner frequency of 0.01 Hz. We used the strong motion durations obtained by Hara (2014), who used high band-pass filter with the corner frequencies of 5 and 10 Hz. He suggested the duration dependence on epicentral distance. We calculated the logarithms of the products of the strong motion durations and displacement amplitudes divided by the epicentral distance twice and compared them to the moment magnitudes. Although the scatter is large, they correlate well, which suggests the possibility to quantify the earthquake size using durations and displacement amplitudes measured from strong motion seismograms.

Acknowledgements. We used strong motion seismograms recorded by the KiK-net of the National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention. We used the hypocenters of the unified hypocenter catalog of the Japan Meteorological Agency.

キーワード: 強震動, 継続時間

Keywords: strong motion duration

## 地盤の経験的伝達関数に基づく線形時と非線形時の計測震度の関係式 Relations between seismic intensity by linear and nonlinear site responses using empirical transfer functions

佐藤 智美<sup>1\*</sup>  
SATOH, Toshimi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 清水建設  
<sup>1</sup> Shimizu Corporation

1923年関東地震や南海トラフ沿いの巨大地震などの歴史地震の震度分布に合う広帯域震源モデルの推定や強震動予測では、地盤の非線形性を考慮して震度を推定する必要がある。しかし、経験的地盤増幅率を用いた統計的グリーン関数法や、経験的グリーン関数法での計算波は、地盤が線形時のものである。また、地盤の非線形性を考慮した解析手法を用いる場合には、地盤モデルと動的変形特性等を設定する必要があるが、強震観測点でもS波検層やボーリング調査がなされているとは限らず、動的変形特性試験はほとんどされない。さらに、動的変形特性の設定方法は様々であり、地盤応答解析手法の違いでも結果は異なる。そこで、本研究では、多数のKiK-net記録に基づき、地盤が線形時と非線形時の経験的伝達関数を求め、線形時と非線形時の計測震度の関係式を作成した。

はじめに、以下のようにして、地盤の線形解析と等価線形解析で用いる理論伝達関数の代わりに、経験的伝達関数を用いて、地盤の非線形性の影響を受けている地表の観測波から、地盤が線形時の波形を推定する。用いたデータは、全国のKiK-net観測点の強震動と、その観測点での弱震動である。強震動は、68地震のPGAが300 cm/s<sup>2</sup>以上の記録、弱震動は520地震のPGAが20~100 cm/s<sup>2</sup>の記録を選択した。この124観測点における記録から、さらに、観測波形に、ロッキング振動や浮き上がり振動の影響のあるデータを除いた。最も影響が大きかった記録は、東北地方太平洋沖地震で震度7相当となったKiK-net芳賀(TCGH16)であった。水平成分の経験的伝達関数は、強震動の地中の上下成分に対する地表の水平成分のスペクトル比に対する、弱震動の地中の上下成分に対する地表の水平成分のスペクトル比の比で定義した。上下成分の経験的伝達関数は、地表の水平成分の代わりに、地表の上下成分を用いることにより、同様に定義した。そして、複素フーリエスペクトルである経験的伝達関数を強震記録の地表のスペクトルに掛け、フーリエ逆変換して、線形時の地表での波形を推定した。地中の上下成分には、地盤の非線形性の影響がほとんどないと考えられるため、地表の記録から非線形地盤応答で地中の上下成分のスペクトルを推定し、これに線形地盤応答を考慮して地表でのスペクトルを算出することに相当する。この手法では、地盤の非線形性を考慮した解析手法が必要となる地下構造モデルや動的変形特性の設定が必要ない。

そして、地盤が線形時の計算波形から算出した計測震度 $I_{LIN}$ と等価卓越周波数( $f_e$ )をパラメータとした地盤が非線形時の計測震度 $I_{NON}$ の経験式を、 $I_{LIN} \geq I_{NON}$ の条件付き最小二乗法により作成した。得られた式は、

$$I_{NON} - I_{LIN} = 6.155 - 1.669 I_{LIN} + 0.110 I_{LIN}^2 - 0.688 \log_{10} f_e$$

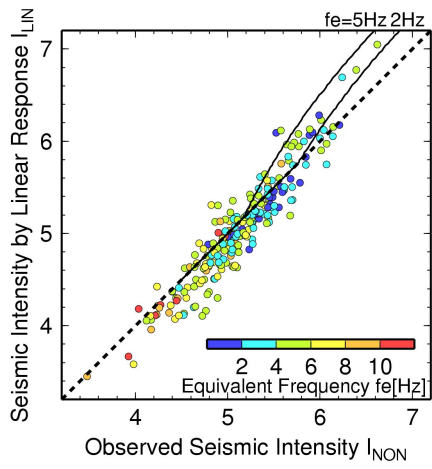
である。ここで、 $f_e$ は、計算波の最大加速度 $PGA_{LIN}$ と最大速度 $PGV_{LIN}$ から $f_e = PGA_{LIN} / (2\pi PGV_{LIN})$ で定義した。 $f_e$ の代わりに $V_{s30}$ を用いた検討も行ったが、 $f_e$ の方がデータの再現性が良かった。これは、 $f_e$ には、サイト特性のみではなく、震源特性と伝播特性の影響も含まれているためと考えられる。図には、 $I_{NON}$ と $I_{LIN}$ の関係と、得られた経験式を示す。最大の観測計測震度 $I_{NON}$ は、2000年鳥取県西部地震のKiK-net日野(TTRH02)での6.6である。 $I_{LIN}$ の範囲は4.5~7.0であり、用いた経験的伝達関数は192個である。得られた経験式は、震度5強以上で、 $I_{NON}$ と $I_{LIN}$ に差が生じはじめる。ひずみが $10^{-3}$ 程度以上に大きくなると動的変形特性の変化率が小さくなることを考慮するため、 $I_{LIN}^2$ 項を導入して、差にはゆるやかな頭打ちを持たせている。 $f_e$ が大きいほど $I_{LIN}$ と $I_{NON}$ の差が大きくなる特徴があるが、これは、高周波数ほど、地盤の非線形性の影響により地盤増幅率が低下するためと考えられる。作成した経験式では、 $I_{LIN}$ が7.0の場合、 $f_e = 5\text{Hz}$ では $I_{NON}$ は約6.4、 $f_e = 2\text{Hz}$ では $I_{NON}$ は約6.7となる。

謝辞：本研究は、科学研究費補助金基盤研究(A)26242034及び(A)23241054による成果である。本研究では、防災科学技術研究所のKiK-net強震記録、PS検層結果、気象庁の震源情報を用いました。

SSS25-P07

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 18:15-19:30





## Nonlinear Site Response Analysis in Tokyo Metropolitan Area Using Equivalent Linear Approach

## Nonlinear Site Response Analysis in Tokyo Metropolitan Area Using Equivalent Linear Approach

IBRAHIM, Rami<sup>1\*</sup>; MASUDA, Tetsu<sup>1</sup>; KOKETSU, Kazuki<sup>1</sup>; HIROSE, Takeshi<sup>2</sup>  
IBRAHIM, Rami<sup>1\*</sup>; MASUDA, Tetsu<sup>1</sup>; KOKETSU, Kazuki<sup>1</sup>; HIROSE, Takeshi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, <sup>2</sup>East Nippon Expressway Company Limited

<sup>1</sup>Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, <sup>2</sup>East Nippon Expressway Company Limited

Nonlinear site effect analysis was carried out for 210 simulated strong ground motion records in the Tokyo Metropolitan area. The simulated strong motion records synthesized for two scenario earthquakes, i.e. plate-boundary and intra-slab ones, were the outputs from the Special Project for Earthquake Disaster Mitigation in Tokyo Metropolitan Area. Fault plane of plate boundary earthquake extends along the surface of subducting Philippine Sea Plate (PHS), located beneath the northern part of Tokyo bay area. Its presumed magnitude of  $M_w$  7.3. The fault plane of intra-slab earthquake is expected within the PHS at a focal depth of 50 km, extended beneath Chiba and Ibaraki prefectures. Its presumed magnitude of  $M_w$  7.1. All waveforms were synthesized on engineering base of shear-wave velocity 500 m/s.

Site response analyses were achieved by an equivalent linear method using DYNEQ program developed by Yoshida and Suetomi (1996).  $G$ - $\gamma$  and  $h$ - $\gamma$  relationships of Central Disaster Mitigation Council are recognized to express the shear deformation of soil (clay, sand, and gravel). Resultant waveforms on free surface shows a systematic dependence on thickness of the soft structure above the engineering base. Large amplification is dominant at corresponding short periods above shallow soft structure, whereas the peak amplitudes shifted to longer periods for sites located above deep soft structure. Nonlinear site effects were typically obvious at short periods of approximately 0.2 s and shorter. The deformations mostly concentrated in the shallow 20 m of the soil inferred from maximum shear strains analysis. Our analysis showed the considerable effects of the non-linear response of surface layers to large seismic inputs on the engineering base.

キーワード: Nonlinear site effect, Plate boundary earthquake, Intra-slab earthquake

Keywords: Nonlinear site effect, Plate boundary earthquake, Intra-slab earthquake

## 東濃地震科学研究所の地震観測点戸狩および TRIES における雑微動最小振幅と地震動最大振幅との関係 Relation between smallest microtremor amplitudes and largest seismic oscillations observed by TRIES

田中 寅夫<sup>1\*</sup>; 大久保 慎人<sup>1</sup>  
TANAKA, Torao<sup>1\*</sup>; OKUBO, Makoto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 無職  
<sup>1</sup> NOTHING

東濃地震科学研究所 (TRIES) の地震観測点は 1999 年 5 月に 02TRIES 点、8 月には 00 戸狩点が設置されて、同年内に 10 点の観測網が完成した。この新設時期に観測された雑微動と地震動の関係を知るため、02TRIES 観測点を「基準点」とし、他の観測点における雑微動と地震動の観測値は、それぞれ 00TRIES の値で除した相対値で与えることとした。設置された地震計は固有振動数 3.0Hz の過減衰型加速度計であり、1.0~10.0Hz の帯域でほぼ水平な特性である。トリガーが作動して、100Hz サンプリング記録が始まり、遅延がかけられた初動までの雑微動の最小振幅、それに続く地震動から最大振幅を求めている。雑微動については数~10 秒間、地震動振幅については P 波、S 波、表面波部分を数秒~10 秒間、それぞれ離散フーリエ変換した。東濃地域における地震動観測から明らかにされてきた site effect に基づいて、2.0~4.0Hz の振動数帯域が地震動災害に大きく関わると考え、上記帯域を幅 0.1Hz、21 区間に分割して、各区間での地震動振幅最大値と雑微動振幅最小値を計算した。02TRIES 観測点では 70 個を超える雑微動記録から最小振幅はかなり高い信頼性で決定できたが、今回報告する 00 戸狩観測点は 14 個の雑微動データしか解析できておらず、まだその信頼性は高くない。結果は全て雑微動振幅の最小値、地震動振幅の最大値とともに、02TRIES 点での値で除した相対値で与えて地震のマグニチュードや震央距離などの影響を少なくして site effect を強調することとした。2 観測点だけの予備的解析結果であるが、雑微動最小振幅値と地震動最大振幅値の組み合わせから siteeffect との有な関連性を導くことが出来そうである。雑微動最小振幅から震源、マグニチュード、メカニズム等を想定すれば 02TRIES 観測点に対する最大地震動振幅の予想が出来ると考えている。

キーワード: 雑微動, 地震動, 離散フーリエ変換, 最小振幅, 最大振幅, サイト・エフェクト  
Keywords: microtremor, seismic waves, discrete Fourier transform, ground soil, maximal amplitude, site effect

## 沖縄島中部から奄美群島南部における S 波速度構造探査 Microtremor surveys for S-wave velocity structure in Okinawa and Amami islands, Japan

山田 伸之<sup>1\*</sup>; 竹中 博士<sup>2</sup>  
YAMADA, Nobuyuki<sup>1\*</sup>; TAKENAKA, Hiroshi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 福岡教育大学 教育学部, <sup>2</sup> 岡山大学 自然科学研究科  
<sup>1</sup>Fukuoka University of Education, <sup>2</sup>Okayama University

琉球海溝に沿って点在する南西諸島では、島ごとに頻度の程度にばらつきはあるものの、過去に主にプレート境界で発生する地震による被害に見舞われている。また、一部の島々では、近い将来に震度 6 弱以上の強い揺れに見舞われる可能性が高いと評価されているとともに、活断層の存在も指摘される島もあり [例えば、地震調査研究推進本部]、将来的に地震被害を受ける危険性は低いといえる。

これまでに、著者らは、奄美大島から八重山諸島の南西諸島の各島々での地震観測点周辺を中心に微動アレイ探査を実施し、暫定版として報告してきた (例えば、山田・竹中 (2013, 2014 各秋季大会))。その中でも、Yamada & Takenaka (2014) では、沖縄島南東部の南城市から那覇市、座間味島、久米島にかけての東西を縦断する地点での微動アレイ探査の結果を報告し、地点毎の S 波速度構造を解明してきた。こうして、具体的な物性値である S 波速度構造情報を蓄積させることは、地震動評価の精度向上のためのモデル化に必要なことであると考えられる。今回は、これまでにまだ報告してきていなかった地点の深部地盤の S 波速度構造を明らかにしたものの報告を行う。なお、この地域では、防災科学技術研究所の J-SHIS の深部地盤モデルが公表されているものの、S 波速度の探査はこれまでになされてはいない。

本発表では、沖縄島中北部から奄美群島南部にかけての強震観測点 (K-NET) 周辺で実施した微動アレイ探査結果について報告する。対象地点は、沖縄島内のうるま (URM)、名護 (NGO)、国頭 (KGS) および奄美群島南部の与論島茶花 (YRN)、沖永良部島知名 (OKE)、徳之島伊仙 (TKS) の各地点である。アレイ観測の実施は、URM と NGO は 2014 年 2 月、KGS、YRN、OKE は 2009 年 3 月、TKS は 2010 年 2 月および 2011 年 9 月に行われたもので、観測には、強震計とロガーの組み合わせを 7 セット用いた。なお、探査サイトにより使用した観測機器が異なるが、データ解析への支障はなかった。観測については、これまでの報告と同様に、常時微動の収録を行った。与論島・沖永良部島・徳之島の各島でのスペクトル形状は、周期 4 秒前後に非常に明瞭なピークを呈していたが、沖縄島内の地点ではあまり明瞭でなかった。こうして得られた観測データから、位相速度を求めると、いずれの地点も、周期 1 秒前後で 2.0 km/s を超える似た傾向を示していた。

今後、詳細な速度構造の解明を行うとともに、これまでの探査結果との対応関係や J-SHIS の速度構造モデルとの比較を行い、強震記録を参考にしながら、逆解析で得られた速度構造の妥当性についての検討も視野に入れたい。

なお、この研究の一部は、科学研究費基盤研究 (B) (課題番号: 26282105) の補助を受けています。記して、感謝いたします。

キーワード: 沖縄島・与論島・沖永良部島・徳之島, S 波速度構造, 微動アレイ探査

Keywords: Okinawa, Yoron, Okinoerabu and Tokunoshima island, S-wave velocity structure, Microtremor array measurement

## 地震波干渉法による別府湾および周辺地域の表面波群速度の推定—広帯域稠密地震観測記録に基づく検討

### Estimation of surface wave group velocities beneath the Beppu bay, western Japan, using a dense broadband array

林田 拓己<sup>1\*</sup>; 吉見 雅行<sup>2</sup>; 徳丸 哲義<sup>3</sup>; 杉山 長志<sup>4</sup>  
HAYASHIDA, Takumi<sup>1\*</sup>; YOSHIMI, Masayuki<sup>2</sup>; TOKUMARU, Tetsuyoshi<sup>3</sup>; SUGIYAMA, Takeshi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 建築研究所 国際地震工学センター, <sup>2</sup> 産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門, <sup>3</sup> 徳丸技術士事務所, <sup>4</sup> なし  
<sup>1</sup> IISEE, Building Research Institute, <sup>2</sup> Geological Survey of Japan, AIST, <sup>3</sup> Tokumaru Professional Engineer's Office, <sup>4</sup> Free

#### 1. はじめに

別府湾および周辺地域における深部地盤構造モデルの検証を目的として、別府湾周辺の連続微動記録を用いた地震波干渉法解析を実施している。林田・吉見(2014, 地震学会)では、大分県中部地域および愛媛県佐田岬に設置されている(独)防災科学技術研究所 Hi-net 連続観測記録を用いて表面波群速度を推定し、既存の地震波速度構造モデル(J-SHIS, 2014)による理論値との比較を行った。しかしながら、湾の空間スケールに対して観測点間距離が長大であるため、詳細な地盤構造の空間変化に関する検討を十分に行うことが出来ない。また、短周期地震計記録に基づく解析では0.1Hz前後の波群の同定が困難であることから、地盤構造の空間変化スケールを考慮した、より高密度かつ広帯域での連続観測を行う必要がある。

#### 2. 別府湾周辺地域における地震動の連続観測

2014年8月以降、別府湾を中心とした領域の12か所(南北30km, 東西65kmの範囲)において地震動の連続観測を実施している。使用機器は広帯域速度計(Nanometrics社製 Trillium Compact: 固有周期120秒)およびデータ収録装置(白山工業製 LS-8800: 100Hz サンプリング)であり、地震計の埋設深度は30cmである。2014年9月-11月の観測記録からパワースペクトル密度を確認したところ、1Hz以下の低周波帯域では全地点の微動レベルに大差がなく、0.08Hz-0.1Hz, 0.15Hz-0.25Hz, 0.5Hz前後においてスペクトルのピークが見られた。

#### 3. 地震波干渉法による表面波群速度の推定

本研究では、取得した連続波形データ(3成分)を1時間毎のセグメントに分割し、振幅値の正規化処理(Bensen et al., 2007)を行った後、0.05Hz-2.0 Hzの帯域において全66観測点ペア(観測点間距離: 6km-65km)の相互相関関数を導出した。本検討では上下動成分(Z-Z), 水平動成分(R-R, T-T)および上下動?水平動成分(Z-R, Z-T)の5成分を対象とし、観測期間全体のスタッキング処理により得られたものを最終的な相互相関関数とした。多くの相互相関関数には明瞭な波群が見られ、堆積層が厚く分布すると考えられる領域を跨ぐペアにおいては、概ね0.1Hz-1.0Hzの周波数帯域において波群の分散性が見られた。但し、他地域での検討事例[林田・他(2014, 地震2)]と同様、相互相関関数のS/N比が2を下回る場合には群速度の推定が困難となり、多くの観測点ペアでは未だ十分なS/N比が得られていないことから、今後も引き続き観測記録を蓄積しながら、地震波干渉法の適用条件について検討を重ねる必要がある。

謝辞: 本研究は、文部科学省研究委託事業「別府一万年山断層帯(大分平野—由布院断層帯東部)における重点的な調査観測」の一環として実施しています。

キーワード: 微動, 地震波干渉法, 表面波, 群速度, 深部地盤構造

Keywords: ambient noise, seismic interferometry, surface wave, group velocity, beppu sedimentary basin



## 別府湾周辺域（大分平野および別府扇状地）における微動アレイ探査 Microtremor array survey in Oita and Beppu area

吉見 雅行<sup>1\*</sup>; 林田 拓己<sup>2</sup>; 徳丸 哲義<sup>3</sup>; 杉山 長志<sup>4</sup>

YOSHIMI, Masayuki<sup>1\*</sup>; HAYASHIDA, Takumi<sup>2</sup>; TOKUMARU, Tetsuyoshi<sup>3</sup>; SUGIYAMA, Takeshi<sup>4</sup>

<sup>1</sup>産総研 活断層・火山研究部門, <sup>2</sup>建築研 国際地震工学センター, <sup>3</sup>徳丸技術士事務所, <sup>4</sup>なし

<sup>1</sup>Geological survey of Japan, AIST, <sup>2</sup>IISEE, Building Research Institute, <sup>3</sup>Tokumaru Professional Engineer's office, <sup>4</sup>Free

別府湾周辺域のS波速度構造を明らかにするため、大分平野内12カ所、別府扇状地5カ所にて微動アレイ探査を行った。アレイは正三角形頂点と重心からなる4点アレイとし、1カ所あたり半径20m~1000m程度の6アレイの観測を実施した。このうち半径約300m, 500m, 1000mの3アレイは交通雑音を避けるため夜間の同時観測(12点)とした。使用センサーは東京測振製速度計SE-321(固有周期10秒, 5V/kine)、白山工業製LS-8800データロガーにて24bit, 100Hzサンプリングで3成分の微動記録を収録した。

取得データの上下成分のうち明らかなノイズ等を除去してSPAC法, V法(Tada et al, 2007), CCA法(Cho et al. 2006)解析を実施し、周波数ごとの位相速度を推定した。概ね0.2Hzから5Hz程度までの周波数帯域にて位相速度が求められた。

観測位相速度を既存地下構造モデルの理論位相速度と比較した。既往の微動アレイ探査が実施されている大分平野では、観測とモデルからの理論値が概ね良い対応を示した。別府扇状地では既往地下構造モデルの理論位相速度は1 Hz以下の低周波数領域で観測値より大きな値を示し、速度構造に修正が必要ことがわかった。

観測位相速度曲線から1次元速度構造を推定した。逆解析には山中・石田(1995)の遺伝的アルゴリズム(GA)を用い、観測位相速度の残差が小さくなるようなS波速度構造モデルを探索した。

本研究は文部科学省研究委託事業「別府一万年山断層帯(大分平野一由布院断層帯東部)における重点的な調査観測」の一環として実施した。微動アレイデータの解析にはBIDO2.0(Tada et al, 2010, <http://staff.aist.go.jp/ikuo-chou>)を使用した。

キーワード: 速度構造, 別府堆積盆地, 微動

Keywords: velocity structure, beppu sedimentary basin, ambient noise

微動・重力探査に基づく鳥取県鹿野地域における地盤震動特性の評価と地盤構造の推定  
Estimation of Subsurface Structure based on Microtremor and Gravity Survey in the Shikano Area, Tottori Prefecture

野口 竜也<sup>1\*</sup>; 香川 敬生<sup>1</sup>; 津吉 祐典<sup>1</sup>; 小倉 康平<sup>1</sup>; 吉田 昌平<sup>1</sup>  
NOGUCHI, Tatsuya<sup>1\*</sup>; KAGAWA, Takao<sup>1</sup>; TSUYOSHI, Yusuke<sup>1</sup>; OGURA, Kohei<sup>1</sup>; YOSHIDA, Shohei<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 鳥取大学  
<sup>1</sup>Tottori University

1943年鳥取地震の際に、地表地震断層として鹿野断層および吉岡断層が生じた。本研究では、鳥取県の鹿野地域において、微動および重力探査により地下構造を推定し、地震被害が生じた地域の地盤震動特性を調べた。微動探査では156地点の単点3成分観測および12地点のアレイ観測を行った。微動探査の解析では、アレイ観測記録より得られる位相速度よりS波速度構造、単点3成分記録から得られるH/Vスペクトルのピーク周期より堆積層の層厚分布を推定した。重力探査ではラコスト・ロンバーク重力計を用いて38点で重力観測を実施し、解析では重力異常データベースおよび鳥取東部地域の既存重力データに今回得られた観測記録を含めて、仮定密度 $2.4\text{t/m}^3$ として重力異常を求め、2次元および3次元の密度構造を推定した。

キーワード: 微動探査, 重力探査, 地盤構造, 鹿野断層  
Keywords: microtremor survey, gravity survey, subsurface structure, hikano area in Tottori Prefecture

## 1943年鳥取地震の学校被害地点における常時微動による地盤構造推定と地震動評価 Estimation of Subsurface Structure from Microtremor and Strong Ground Motion Evaluation of the 1943 Tottori Earthquake

吉田 昌平<sup>1\*</sup>; 貝崎 達憲<sup>1</sup>; 野口 竜也<sup>1</sup>; 香川 敬生<sup>1</sup>  
YOSHIDA, Shohei<sup>1\*</sup>; KAIZAKI, Tatsunori<sup>1</sup>; NOGUCHI, Tatsuya<sup>1</sup>; KAGAWA, Takao<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 鳥取大学  
<sup>1</sup>Tottori University

1943年9月10日、鳥取市東部を震源に鳥取地震が発生し、鳥取市街地を中心に甚大な被害を出した。地震発生から70年が経過したが、被害状況を記す資料はほとんど残っておらず当時の被害状況は十分に把握できていない。しかし、学校建物被害に関する資料や鳥取市街地の被害写真など、わずかに残った資料から被害が明確にされている場所も存在する。本研究では、残存資料から把握された建物被害地点を対象に微動3成分単点観測と微動アレイ観測を実施し、詳細な地下構造の推定と推定モデルを用いた地震動評価により被害の原因について検討した。3成分単点観測記録を用いた水平動と上下動のスペクトル比(H/V)により対象地点の卓越周期を推定したところ、地盤の卓越周期と建物の固有周期が一致する地点は少なく、H/Vだけでは十分に説明できなかった。微動アレイ観測記録を用いたフォワード解析によりS波速度700m/sまでの地下構造モデルを得ることができ、鳥取市街地ではS波速度100~200m/s程度の層が30m程度堆積していることがわかった。地震動評価では統計的グリーン関数法を用いて工学基盤波形を推定し、等価線形応答解析により地表面地震動の推定を行った。周期1.0秒程度の応答値が大きい地点で被害が大きい傾向があることがわかった。

キーワード: 微動観測, 鳥取地震, S波速度構造, H/V  
Keywords: Microtremor observation, Tottori Earthquake, S-wave velocity structure, H/V

## 地震波干渉法を用いた立川断層帯周辺におけるレイリー波群速度の評価 Evaluation of Rayleigh-wave group velocities using seismic interferometry in the vicinity of Tachikawa fault zone

石毛 宏和<sup>1\*</sup>; 地元 孝輔<sup>1</sup>; 佐口 浩一郎<sup>1</sup>; 山中 浩明<sup>1</sup>; 酒井 慎一<sup>2</sup>; 蔵下 英司<sup>2</sup>; 平田 直<sup>2</sup>  
ISHIGE, Hirokazu<sup>1\*</sup>; CHIMOTO, Kosuke<sup>1</sup>; SAGUCHI, Koichiro<sup>1</sup>; YAMANAKA, Hiroaki<sup>1</sup>; SAKAI, Shin'ichi<sup>2</sup>;  
KURASHIMO, Eiji<sup>2</sup>; HIRATA, Naoshi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京工業大学大学院総合理工学研究科, <sup>2</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup>Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, <sup>2</sup>Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

近年注目を集めている地盤探査手法の一つに地震波干渉法がある。本研究ではこの手法を用いて立川断層帯周辺の表面波群速度の推定と評価を行った。解析はまず各観測点間において相互相関関数に基づくグリーン関数を推定し、表面波群速度の分散曲線を求めた。次に、地元・山中(2013)によって提案された地震波干渉法の適用範囲を用いて抽出したデータをもとに、表面波のスローネストモグラフィ解析を行った。解析されたトモグラフィマップから、立川断層帯の南西側では長周期の表面波ほど群速度の大きい範囲を南側に広げ、北東側とは明らかに構造が異なることが分かった。最後に、解析結果と地震調査研究推進本部の「長周期地震動予測地図」による既往の地下構造モデルを用いて算出した群速度を比較した。その結果、断層の南西側で推定された群速度の大きい領域が、既往のモデルに比べ短周期帯で広く現れており、既往のモデルよりも表層の層厚が小さいことを示唆する結果となった。

キーワード: 立川断層帯, 地震波干渉法, レイリー波, 表面波群速度

Keywords: Tachikawa fault zone, Seismic interferometry, Rayleigh wave, surface-wave group velocities



## 立川断層近傍における短周期地震動の空間変動特性 Characteristics of Spatial Variation of Short-Period Ground Motion in the Vicinity of Tachikawa-Fault

津野 靖士<sup>1\*</sup>; 佐口 浩一郎<sup>2</sup>; 地元 孝輔<sup>2</sup>; 佐藤 浩章<sup>3</sup>; 松島 信一<sup>4</sup>; 重藤 迪子<sup>5</sup>; 高井 伸雄<sup>5</sup>;  
神野 達夫<sup>6</sup>; 山中 浩明<sup>2</sup>; 川瀬 博<sup>4</sup>  
TSUNO, Seiji<sup>1\*</sup>; SAGUCHI, Koichiro<sup>2</sup>; CHIMOTO, Kosuke<sup>2</sup>; SATO, Hiroaki<sup>3</sup>; MATSUSHIMA, Shinichi<sup>4</sup>;  
MICHIKO, Shigefuji<sup>5</sup>; TAKAI, Nobuo<sup>5</sup>; KANNO, Tatsu<sup>6</sup>; YAMANAKA, Hiroaki<sup>2</sup>; KAWASE, Hiroshi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 鉄道総合技術研究所, <sup>2</sup> 東京工業大学, <sup>3</sup> 電力中央研究所, <sup>4</sup> 京都大学, <sup>5</sup> 北海道大学, <sup>6</sup> 九州大学

<sup>1</sup>Railway Technical Research Institute, <sup>2</sup>Tokyo Institute of Technology, <sup>3</sup>Central Research Institute of Electric Power Industry, <sup>4</sup>Kyoto University, <sup>5</sup>Hokkaido University, <sup>6</sup>Kyusyu University

表層地盤内には、不規則な形状の地層境界やS波速度の横方向の変化など様々な不均質性が存在している。表層地盤の不均質性は、局所的な地震被害集中や大加速度生成などの現象(山中ら, 2011)の主要な原因となることが多い。本研究では、こうした特異な地震動の分布に関する現象を理解することを目的として、表層地盤内に段差状の構造がある立川断層近傍に於いて、断層直交方向にアレー地震観測を実施し、収録された観測地震動の空間変動特性について検討した。

東京都武蔵村山市に位置する真如苑グラウンド内で地震観測を実施し、加速度計 JEP-6A3 と収録器 Datamark LS7000XT (200Hz サンプリング) を使用した。観測期間は 2014 年 6 月 17 日~20 日の計 4 日間である。立川断層に直交する形で、約 650m の測線上に地震計を 8 点設置した。6 月 20 日に発生した千葉県北西部の地震 (Mj 4.6) と茨城県沖の地震 (Mj 3.9) が収録され、それらデータをもとに短周期地震動の空間変動特性を評価した。測線のある観測点を境に観測波形が顕著に異なっており、波形全体のフーリエ・スペクトルはその観測点の東側と西側で、4Hz 以上の周波数帯で振幅が異なり、10Hz 付近でその差が最も顕著である。このことは、表層地盤の速度構造が異なるためであると考えられる。一方で、測線の最も東側に位置する観測点を基準点としたコヒーレンスは、水平距離が離れる観測点ほど低下し、この場合 0.5-1Hz の周波数でその変化が最も顕著である。このことは、水平方向に伝播する表面波の影響が現れているためと考えられる。

本研究では、立川断層に直交する測線上の観測点に収録された地震データをスペクトル解析することより、表層地盤の不均質性による短周期地震動の空間変動特性を検討した。今後は、Goodness-of-fit の手法を用いて、より定量的に地震動の空間変動特性を評価する予定である。

キーワード: 短周期地震動, 空間変動, 表層地盤構造, 地震観測, 立川断層

Keywords: short-period ground motion, spatial variation, shallow soil structure, earthquake observation, Tachikawa-Fault

## 微動アレイ観測による大崎市古川地区の浅層地盤構造の推定 Estimation for velocity structure of shallow sediments using microtremor array observation in Furukawa, Japan

満永 仁志<sup>1\*</sup>; 飯山 かほり<sup>1</sup>; 盛川 仁<sup>1</sup>; 後藤 浩之<sup>2</sup>; 稲谷 昌之<sup>2</sup>; 羽田 浩二<sup>3</sup>; 池田 貴昭<sup>2</sup>;  
高屋 俊康<sup>2</sup>; 木村 紗也佳<sup>2</sup>; 秋山 良平<sup>2</sup>; 澤田 純男<sup>2</sup>  
MITSUNAGA, Hitoshi<sup>1\*</sup>; IYAMA, Kahori<sup>1</sup>; MORIKAWA, Hitoshi<sup>1</sup>; GOTO, Hiroyuki<sup>2</sup>; INATANI, Masayuki<sup>2</sup>;  
HADA, Koji<sup>3</sup>; IKEDA, Takaaki<sup>2</sup>; TAKAYA, Toshiyasu<sup>2</sup>; KIMURA, Sayaka<sup>2</sup>; AKIYAMA, Ryohei<sup>2</sup>;  
SAWADA, Sumio<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京工業大学, <sup>2</sup> 京都大学, <sup>3</sup> 株式会社ニュージェック  
<sup>1</sup>Tokyo Institute of Technology, <sup>2</sup>Kyoto University, <sup>3</sup>Newjec INC.

On March 11, 2011, the Tohoku earthquake (Mw 9.0) brought the large ground motion and tsunami in the eastern part of mainland Japan. As a result, many buildings were seriously damaged and many people were killed. Furukawa of Miyagi prefecture is one of the most seriously damaged areas by the earthquake ground motion. The anomaly of the damage distribution was observed in this area. It is considered that the anomaly caused by difference in ground motion characteristics, and especially shallow ground structure affects ground motion characteristics. To identify the characteristics, some observations have been carried out in Furukawa, for example, very dense seismic array observations (Goto et al., 2012) and so on. The observation covers 2.3km<sup>2</sup> area by 23 sensors and provides the relative information on depth to ground basement. However, it is still difficult to determine the absolute values of the depth to the basement.

In order to clarify the shallow ground structure in the area, the array observation of microtremors was carried out from December 13 to 16, 2014. The three components seismometer was adopted, that is, moving-coil type velocity sensor with the natural frequency of 2 Hz. We set three arrays in the north-western area of Furukawa station, which were the equilateral triangle arrays with radii of 2.9 m to 45 m.

The microtremor data were analyzed by the spatial auto-correlation (SPAC) method (aki, 1957). In the surface layer of ground, the shear-wave velocity is approximately 100 m/s at all the sites and the depth is 10 or 15 m. Also, the depth to the ground basement is around 35 m at all the sites. On the other hand, the differences of the ground properties are found in middle layers. It, however, is difficult to recognize the differences on the horizontal-to-vertical spectral ratios (H/V), because of the similarity of the predominant frequencies.

The estimated S-wave velocity structures suggest that the properties of middle layers affect to the anomaly of damage distribution. This means that the impedance ratio between middle layer and basement plays the important roles to the amplification of the ground motions in this area.

Keywords: microtremor, velocity structure, array observation, Furukawa, ground motion, spatial auto-correlation method

## 大崎市古川地区の浅層地盤構造をターゲットとした超高密度常時微動観測 Super dense microtremor observation evaluating shallow ground structure in Furukawa area

後藤 浩之<sup>1\*</sup>; 稲谷 昌之<sup>2</sup>; 羽田 浩二<sup>3</sup>; 池田 貴昭<sup>4</sup>; 高屋 俊康<sup>4</sup>; 木村 紗也佳<sup>2</sup>; 秋山 良平<sup>2</sup>;  
澤田 純男<sup>1</sup>; 飯山 かほり<sup>5</sup>; 盛川 仁<sup>5</sup>  
GOTO, Hiroyuki<sup>1\*</sup>; INATANI, Masayuki<sup>2</sup>; HADA, Koji<sup>3</sup>; IKEDA, Takaaki<sup>4</sup>; TAKAYA, Toshiyasu<sup>4</sup>;  
KIMURA, Sayaka<sup>2</sup>; AKIYAMA, Ryohei<sup>2</sup>; SAWADA, Sumio<sup>1</sup>; IYAMA, Kahori<sup>5</sup>; MORIKAWA, Hitoshi<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 京大防災研, <sup>2</sup> 京大院工, <sup>3</sup> ニュージェック, <sup>4</sup> 京大工, <sup>5</sup> 東工大院総合理工

<sup>1</sup>DPRI, Kyoto Univ., <sup>2</sup>Eng. Dept., Kyoto Univ., <sup>3</sup>Newjec Inc., <sup>4</sup>Eng., Kyoto Univ., <sup>5</sup>Science Eng., Tokyo Inst. Tech.

2011年東北地方太平洋沖地震では、東北地方の内陸部において地震動による被害も局所的に発生している。宮城県大崎市古川地区は、地震動による被害が顕著であった地区の1つである。古川地区内でも被害の発生したエリアは限定的であったため、地盤震動特性の違いなどがその原因として予想された。そこで、2011年9月より、地震観測点を高密度に配置して地盤震動特性の違いを明らかにする研究が進められている(Goto et al., 2012)。地震記録に基づいて浅層地盤構造を推定した結果、被害の発生したエリアでは相対的に表層地盤が厚く堆積していることが示唆されている(稲谷他, 2013)。

地震観測点は、市街地中心部(1km x 1.5km)に25台が展開されており、およそ350m四方に1台程度の密度である。地震観測網としては世界最高クラスの密度ではあるが、実際に地盤震動特性を詳細に議論しようとするには十分でなかった。そこで、地震観測点間を埋めた高精細な浅層地盤構造を把握することを目的として、より高密な単点常時微動観測を実施した。

単点常時微動観測は2014年9月30日から10月2日、および12月14日から17日の計7日間実施した。対象とする古川地区市街地の527点で計測した。なお、測定点の間隔は約50mとなるように設定している。各測定点で11分間の常時微動を計測し、計測記録からそれぞれH/Vスペクトル比を求める。H/Vスペクトル比のピーク値を与える周波数を各測定点で抽出し、地図上にプロットした。

H/Vスペクトル比のピーク周波数は、古川地区市街地で概ね1-2Hzの範囲に求められる。測定エリア内でピーク周波数が相対的に高い(1.5-2.0Hz)エリアは、地震記録により表層厚さが浅めに推定されたエリアと概ね整合する。また、地震動被害の生じたエリアはピーク周波数が相対的に低く(1.0-1.5Hz)求められている。ただし、ピーク周波数は空間的に相当ばらつきのため、常時微動により浅層地盤を分析するためには、そのばらつきを如何に取り扱うかが重要である。

### 参考文献

Goto et al.: Very dense seismic array observations in Furukawa district, Japan, *Seism. Res. Lett.*, 83(5), pp.765-774, 2012.

稲谷他: 大崎市古川高密度地震観測を利用した表層地盤構造の推定, *土木学会論文集 A1*, 69(4), pp.I.758-766, 2013.

キーワード: 常時微動観測, H/V スペクトル比, 地盤震動, 古川地区

Keywords: microtremor observation, H/V spectral ratio, site factor, Furukawa area

## 断層近傍の詳細地盤モデル作成の検討ー深谷断層帯・綾瀬川断層帯を例としてー Construction of underground structure model in the fault neighborhood (An example of Fukaya fault and Ayasegawa fault).

先名 重樹<sup>1\*</sup>; 松山 尚典<sup>2</sup>; 神 薫<sup>2</sup>; 藤原 広行<sup>1</sup>  
SENNA, Shigeki<sup>1\*</sup>; MATSUYAMA, Hisanori<sup>2</sup>; JIN, Kaoru<sup>2</sup>; FUJIWARA, Hiroyuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所, <sup>2</sup> 応用地質

<sup>1</sup> NIED, <sup>2</sup> OYO Corp

### 1. はじめに

防災科研では、南関東全域においてボーリングデータ等の地質・地盤資料に基づく初期地質モデルの構築と、そのモデルを基に地震記録と微動観測記録により、物性値（主にS波速度）を調整し、周期・増幅特性を考慮した浅部・深部統合地盤構造モデルの試作を行ってきている。これらは広域地盤モデル構築手法の標準化の取組として、地震本部にて「地下構造モデル作成のレシピ」を構築している。さらに、地盤モデル高度化の検討として、詳細な地盤モデル（詳細地盤モデル）の構築時に必要となる、活断層近傍における地震動評価やモデル作成時の地盤の不整形性の検討および強震動時の非線形特性を評価できる地盤構造モデルの構築等の構築を検討している。本検討では、南関東地域に存在する深谷断層帯・綾瀬川断層帯を例として詳細地盤モデル構築の検討結果について報告する。

### 2. 断層帯周辺の既往調査と地質構造の概要

深谷断層帯・綾瀬川断層は、地震本部の長期評価見直しで関東平野北西縁断層帯から変更されている。この断層自体の活動度は低いが、連動するとM8クラスの地震が発生すると予測される。深谷断層は、明瞭な重力異常分布境界となっている。なお、深谷断層については杉山・他(2009)により、反射法地震波探査、ボーリング、トレンチ等の調査が行われており、断層の構造や活動性の検討がなされている。反射法探査や既往の反射断面の解釈により、深谷断層から北東側では、基盤岩上面が深度3km付近まで落ちていること、その上に中新世以降の地層が厚く堆積していることが確認されている。深谷断層は、南側の平井断層、櫛引断層と合わせて地質構造の形成過程が検討されている。

### 3. 調査概要

上記の断層近傍の地盤構造モデルを構築するために、地震観測および微動観測を実施した。観測は断層を挟むように5測線を展開し、単点微動約200m間隔、極小アレイ1km間隔、大アレイが2km間隔で実施している。大アレイの位置には地震観測も実施した。5測線のうち1測線は、杉山他(2009)における反射法地震波探査断面の測線近傍で実施している。なお、断層の北東側は沖積低地、南東側がローム台地で構成されている。

#### (1) 地震観測

断層近傍の14か所において臨時地震観測を実施した。観測した記録について、フーリエスペクトルを地点ごとにまとめたところ、地震によって異なる特性が確認できるが、地点ごとにスペクトルに一定の傾向が確認出来た。そこで、各地点とのスペクトル比を取ったところ、各地点ともスペクトル比は地震に寄らず安定しており、サイト増幅特性として利用できる。

#### (2) 常時微動観測

微動観測の結果、単点のH/Vスペクトルのピーク周期は、断層の両側で異なる傾向を示す。断層の落ち側（北東側）では、上がり側（南西側）に比べて、H/Vスペクトルのピーク周期が周期の長い方へシフトする（周波数が小さくなる）傾向が確認出来た。微動探査（アレイ）地点に近い、地震動のR/Vスペクトルと比較したところ、低周波数域のスペクトル特性も調和的であることを確認している。微動アレイ解析で得られたS波速度構造とJ-SHISの深部地盤モデルのS波速度構造を比較すると、地震基盤相当の $V_s=3.2\text{km}$ 層の上面は、今回の結果の方が全体的に約500m程度深くなっている。一方で、 $V_s=1.5\text{km}$ 層の上面は、断層落ち側で300~500m程度浅くなっている。また、 $V_s=0.9\text{km}$ 層の上面は、断層落ち側で最大で900m程度深くなることが分かった。工学的基盤以浅の地盤構造では、断層落ち側の断層直近で $V_s=0.3\text{km}$ ないし $0.2\text{km}$ 以下の層が厚い（十数m）。同様の傾向は、現在作成中の防災科研の南関東地盤モデルでも確認されている。断層周辺のボーリングデータでみると、本数が少ないので、詳細は不明であるが、断層落ち側の断層直近でN値の小さい完新統（粘性土層など）が厚くなっている傾向があるように見え、前述のS波速度構造分布と調和的である。

### 4. まとめと今後の検討

本研究の結果、断層の落ち側では、上り側に比べて微動のH/Vスペクトルの周波数が小さくなる傾向が明瞭で双方の構造の変化が比較的良く確認でき、観測された地震動のR/Vスペクトルも同様の特性を示すことがわかる。また、深谷断層を挟む両側の地盤では、スペクトル特性、S波速度構造にも相違が明瞭にみられ、ボーリングデータからも判別できることから、この断層においては地震観測記録・微動記録による詳細地盤モデルの構築・検証は十分に可能であること



SSS25-P19

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 18:15-19:30

が分かった。

今後、地震観測データを用いた、スペクトルインバージョン等による、断層両側の地盤での地震動の増幅特性の定量的な検討および、ボーリングデータから読み取れる地下浅部の地質構成、地質構造や重力探査結果をふまえた浅部・深部地盤の速度構造モデルの作成を試み、観測された地震動の作成した地盤モデルを用いた検証や工学的基盤の不整形性の影響評価を実施する予定である。

キーワード: 常時微動, 活断層, 強震動予測, 地盤モデル

Keywords: microtremor observation, active fault, strong motion prediction, underground structure model

## 単点常時微動観測を用いた工学的基盤の傾斜箇所の判定に関する基礎的検討 A study for detection of the site on inclined engineering bedrock based on microtremor observation

坂井 公俊<sup>1\*</sup>; 田中 浩平<sup>1</sup>; 宇佐美 敦浩<sup>1</sup>; 小林 薫<sup>2</sup>; 平林 雅也<sup>2</sup>

SAKAI, Kimitoshi<sup>1\*</sup>; TANAKA, Kohei<sup>1</sup>; USAMI, Atsuhiko<sup>1</sup>; KOBAYASHI, Kaoru<sup>2</sup>; HIRABAYASHI, Masaya<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 鉄道総合技術研究所, <sup>2</sup> 東日本旅客鉄道

<sup>1</sup>Railway Technical Research Institute, <sup>2</sup>East Japan Railway Company

工学的基盤が傾斜しているような地点では、地震動が局所的に増幅する可能性があり、土木構造物の耐震設計の観点からも注意が必要な箇所に該当する。ここで、2点の常時微動同時観測記録の鉛直スペクトル比がグリーン関数の比になるという理論的な報告がされており、この方法を用いることで、工学的基盤の傾斜箇所を簡易に抽出できる可能性がある。そこで、工学的基盤が傾斜している地点において常時微動観測を実施することで、地盤傾斜抽出の可能性について検討を行った。その結果、基盤が概ね水平な地点間の鉛直スペクトル比は概ね 1.0 であるのに対し、基盤が傾斜している地点間では振幅比の大きさ、山と谷の振動数も大きく変化しており、この方法によって基盤傾斜が抽出できる可能性があることを確認した。今後は本地点を対象とした数値解析を実施することで結果の妥当性を確認するとともに、基盤傾斜箇所の簡易抽出法を構築する予定である。

キーワード: 常時微動, 表面波, 傾斜地盤

Keywords: microtremor, surface wave, irregular ground