

遠山地震 (1718 年) の災害調査 Disaster research in the Toyama Earthquake(1718)

坂本 正夫^{1*}
SAKAMOTO, Masao^{1*}

¹ 飯田市美術博物館
¹Iida city Museum

1. はじめに

過去約 1600 年間に長野県内で記録された被害地震の内、県南部で広範囲に被害をもたらした地震は、1718 年に飯田市南信濃和田を震源とする遠山地震のみである(新編日本の活断層,1991、気象庁精密地震室,2013)。遠山地震は、マグニチュード 7.0 で享保 3 年 7 月 26 日(1718 年 8 月 22 日)に発生した(宇佐美、2003)。この地震は、中央構造線沿いで発生したと考えられている(坂本、1977)。この地震の災害について、文献収集と現地調査を行ったので報告する。

2. 調査結果

長野県南部で判明した災害場所は 22 ケ所である。この他、長野県内で 4 ケ所、静岡県内で 3 ケ所、愛知県内で 3 ケ所、岐阜県内で 3 ケ所、合計 35 ケ所であった。この内、特徴的な災害事例を示す。(1) 飯田市南信濃和田:震央付近で盛平山が崩れて裾野に出山を形成した。押出沢から押し出した土砂が遠山川をせき止めた。せき止め湖は一週間後に決壊し、遠山川の流路を替えて夜川瀬の平坦地を形成した。(2) 阿南町新木田(あらきだ):花崗岩の基盤に砂岩・泥岩を中心とした新第三紀層がおおひ、天竜川の右岸を構成している。地震によって「きび嶋」という場所の斜面が崩れて天竜川をせき止めた。せき止めた水は、上流の現存する大島という集落を水没させた。(3) 阿南町古城:新第三紀の砂岩・泥岩からなる地質である。古城では、山崩れが 24 ケ所で発生し、地名のついた田畑の崩壊は 33 ケ所あり、現在もその地名が使われている。(4) 下條村陽阜(ひさわ):第四紀扇状地や土石流の堆積物からなる。この流域で山崩れが起こり、寺や神社とその集落の多くが破壊された。また、この地区から東の方向に伊那山地、赤石山脈がそびえて見えるが、それらの山々が崩れる様子が見えたとの伝承がある。(5) 泰阜村金野(きんの):花崗岩類の地質からなる。山崩れで荒れた田が 24 ケ所あり、その内 12 ケ所は現在も使われている地名である。場所が特定できた 12 ケ所と特定できなかった 12 ケ所を含めて、幅約 1.5km で長さ約 2km の範囲内で 24 ケ所の災害密度はかなり高い。(6) 遠州「てうな」(静岡県浜松市横山町):「遠州『てうな』という所で天竜川が止まった」という文書が見つかった。現在この地名は使われていないが、『雲名』(うんな)という地名があり、この付近で天竜川がせき止められたと推測した。この地震で天竜川が 2 ケ所でせき止められたことが分かった。

3. 議論と考察

(1) 調査して見えたこと:飯田市南信濃和田の中央構造線沿いを震央として見つかった地震記録の分布はかなり偏っている。南北に近い方向で走る中央構造線を境にして、西側にしか被害の記録は見つからなかった。東側は赤石山脈でほとんど人が住んでいない地域であり、災害があっても記録が残らなかったのである。また、300 年の時間が経過し、様々な要因で記録が失われている。(2) 地質的な特異性:地質の違いと地震災害の分布から 3 種類に分けられる。一つ目は、花崗岩類の基盤に発生した災害で、規模の大きな山崩れである。二つ目は、新第三紀層の中に発生した災害である。これは阿南町を中心に分布し災害記録も多い。また、花崗岩の基盤と新第三紀層との境を走る富草断層が地震動を増幅させた可能性もある。三つ目は、第四紀の段丘礫層や扇状地礫層の上で発生した災害である。固結度が弱く柔らかい礫層では、人間生活に直結した家屋の倒壊や田畑への土石の流入が目立つ。(3) 中越地震との比較:中越地震は、2004 年(平成 16 年)に新潟県川口町の信濃川付近で発生したマグニチュード 6.8 の地震である。被害地域は新第三紀中新世から鮮新世にかけての地質である。約 300 年経った遠山地震の記憶は少なくなっているが、阿南町の似た新第三紀層での被害密度は似ている。(4) 宝永地震との関連:1707 年に日本の地震史上最大級のマグニチュード 8.6 の宝永地震が発生している。この 11 年後に遠山地震が発生している。すなわち、宝永地震の余震として遠山地震が発生したと見られる。

4. 引用文献

気象庁精密地震観測室、2013、ウェブサイト、坂本正夫、1977、中央構造線総合研究連絡誌 2、新編日本の活断層、1991、東京大学出版会、宇佐美龍夫、2003、東京大学出版会

SSS23-P01

会場:3 階ポスター会場

時間:5 月 1 日 18:15-19:30

キーワード: 遠山地震, 1718年, 地震災害, 中央構造線, 宝永地震

Keywords: toyama earthquake, the year 1781, earthquake disaster, median tectonic line, hoei earthquake

アンケート震度算定方法の改良に関する一考察 A discussion on improvement of calculation technique for questionnaire survey of seismic intensities

齊藤 良平²; 山本 英和^{1*}; 齊藤 剛¹
SAITO, Ryohei²; YAMAMOTO, Hidekazu^{1*}; SAITO, Tsuyoshi¹

¹ 岩手大学工学部, ² 岩手大学大学院工学研究科

¹ Faculty of Engineering, Iwate University, ² Graduate School of Engineering, Iwate University

本研究では、東北地方太平洋沖地震を含む過去に岩手県内で発生した大地震に対する高密度アンケート震度調査で得られた震度と計測震度とを比較した結果、東北地方太平洋沖地震の場合のみ、アンケート震度が計測震度より約0.5程度大きい値を示したが、他のすべての地震のほとんどの観測点ではアンケート震度が計測震度より小さい値を示すことがわかった。特に、2011年4月7日の余震では計測震度6弱を示すいくつかの観測点ではアンケート震度と計測震度との差が0.1-0.2程度で比較的小さいが計測震度5強を示す観測点ではその差が0.5以上と大きくなる。また2003年や2008年の地震の場合、計測震度5弱から5強の範囲でアンケート震度が計測震度より約0.3程度小さくなることが示された。そこで、高震度領域に対応可能な方法の一つとして井上ほか(1999)の方法を用いて太田ほか(1998)の方法と比較した。井上ほか(1999)によると、太田ほか(1998)では震度4.5程度の中震度領域ではアンケート震度が低く見積もられることを指摘している。彼らは太田ほか(1979)の算定方法を変更せずにその差異を解消するために経験式を用いて高震度領域まで対応可能な方法を提案した。我々の調査を両手法で検討した結果、井上ほかの経験式を用いた場合、東北地方太平洋沖地震以外の地震では、アンケート震度と計測震度との関係は良い対応を示すことがわかった。

計測震度とアンケート震度との差異についてアンケートの質問項目の回答の違いから考察した。揺れの長さに関する質問18において、計測震度が震度5強で同一である観測点近傍の調査票の回答分布を調査した結果、東北地方太平洋沖地震の場合の最頻値の回答番号は5の「非常に長かった」であるが、他の地震の場合は4の「長かった」であった。計測震度が震度6弱の場合も同様の結果であった。継続時間に関する回答の震度係数が算定震度に大きな影響を与えていると考えられる。計測震度は地震動の加速度記録にフィルター、ベクトル合成などの処理から得られるが最低0.3秒継続時間があれば同一の値となる。今までの算定式を作成する際の調査データとして東北地方太平洋沖地震に匹敵する継続時間を有する地震の調査が皆無であるためこのような結果になったと推察される。また、そのときの行動に関する質問22において、すべての地震で最頻値の回答番号は2の「意識的に身の安全を考えた」であったが、東北地方太平洋沖地震の場合のみ、3の「意識して戸外へのがれた」の回答の割合が高かった。質問22も長時間の継続時間に関連する質問と予想される。

参考までに、継続時間の長い東北地方太平洋沖地震のみのアンケート震度と計測震度を満足する経験式を作成した。

$I = 1.2872 \times (I_q) - 0.4727$, ここで I_q は太田ほか(1979)のアンケート震度を示す。

なお、我々の所有するアンケート震度を用いて計測震度を満足するように、太田ほか(1998)の手法と同様に、震度係数は従来の値を利用して、質問のおもみを1, 2, 3の3段階の整数値として統計分析によって決定しなおした結果、震度の残差は井上ほか(1999)と同程度となった。よって、マグニチュード9の巨大地震を例外とすれば、頻繁に発生するM7からM8程度の被害地震の際にアンケート震度調査を実施する場合、井上ほか(1999)のアンケート震度換算式を利用したほうが、計測震度とアンケート震度との差異が中震度から高震度領域にわたって比較的小さいことが期待でき、かつ過去のデータも活用できると考えられる。参考までに、井上ほか(1999)の方法で東北地方太平洋沖地震と4月7日の余震の詳細震度分布を作成した結果、当然のことながら計測震度観測点近傍では計測震度とアンケート震度はほぼ一致し、それ以外の地域では、山本ほか(2013)により震度4から5弱の地域が震度5弱から5強と大きい値を示すことがわかった。

参考文献

太田ほか(1979)北海道大学工学研究報告, 92, pp. 117 - 128.

太田ほか(1998)自然災害科学, 16, pp. 307 - 324.

井上ほか(1999)地震 第2輯, 51, 4, 1999, pp. 395 - 407.

山本ほか(2005), 物理探査学会題112回学術講演会講演論文集, pp. 180 - 183.

山本ほか(2009), 平成20年度北東北国立3大学連携推進研究プロジェクト, 岩手・宮城内陸地震被害調査研究報告書, pp. 4 - 17.

山本ほか(2013), 東北地域災害科学研究, 第49巻, pp. 29 - 34.

山本ほか(2013), 東北地域災害科学研究, 第49巻, pp. 35 - 40.

キーワード: アンケート震度算定方法, 計測震度, 高震度領域

SSS23-P02

会場:3 階ポスター会場

時間:5 月 1 日 18:15-19:30

Keywords: Calculation technique for questionnaire seismic intensities, Instrumental Seismic Intensity, Large seismic intensity range

SATREPS Project on Earthquake and Tsunami Disaster Mitigation in the Marmara Region and Disaster Education in Turkey

SATREPS Project on Earthquake and Tsunami Disaster Mitigation in the Marmara Region and Disaster Education in Turkey

CITAK, Seekin ozgur^{1*}; KANEDA, Yoshiyuki¹; ERDIK, Mustafa²; TAKAHASHI, Narumi¹; OZEL, Nurcan meral²; HORI, Takane¹; HORI, Muneo³; KUMAMOTO, Kunihiko⁴; KALAFAT, Dogan²; PINAR, Ali²; OZEL, Oguz⁵; YALCINER, Ahmet cevdet⁶; NURLU, Murat⁷; TAMIRCAN, Gulum²; MIRZAOGLU, Mete⁷; ARIYOSHI, Keisuke¹
CITAK, Seekin ozgur^{1*}; KANEDA, Yoshiyuki¹; ERDIK, Mustafa²; TAKAHASHI, Narumi¹; OZEL, Nurcan meral²; HORI, Takane¹; HORI, Muneo³; KUMAMOTO, Kunihiko⁴; KALAFAT, Dogan²; PINAR, Ali²; OZEL, Oguz⁵; YALCINER, Ahmet cevdet⁶; NURLU, Murat⁷; TAMIRCAN, Gulum²; MIRZAOGLU, Mete⁷; ARIYOSHI, Keisuke¹

¹Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Japan, ²Bogazici University, Kandilli Observatory and Earthquake Researches Institute (KOERI), Turkey, ³University of Tokyo, Japan, ⁴Edogawa University, Japan, ⁵Istanbul University, Turkey, ⁶Middle East Technical University, Turkey, ⁷Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD), Turkey
¹Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Japan, ²Bogazici University, Kandilli Observatory and Earthquake Researches Institute (KOERI), Turkey, ³University of Tokyo, Japan, ⁴Edogawa University, Japan, ⁵Istanbul University, Turkey, ⁶Middle East Technical University, Turkey, ⁷Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD), Turkey

Since 1939, devastating earthquakes with magnitude greater than seven ruptured North Anatolian Fault (NAF) westward, starting from 1939 Erzincan (Ms=7.9) at the eastern Turkey and including the latest 1999 Izmit-Golcuk (Ms=7.4) and the Duzce (Ms=7.2) earthquakes in the eastern Marmara region. On the other hand, the west of the Sea of Marmara an Mw7.4 earthquake ruptured the NAF's Ganos segment in 1912. The only un-ruptured segments of the NAF in the last century are within the Sea of Marmara, and are identified as a "seismic gap" zone. The Sea of Marmara should be focused on through a multidisciplinary research and uncertainty in magnitude, epicenter, recurrence, fault segmentation, and their cross effects should be identified and characterized. To fill the necessity above, a comprehensive multidisciplinary research on earthquake and tsunami disaster mitigation in the Marmara region and disaster education in Turkey in the framework of Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development (SATREPS) sponsored by Japan Science and Technology Agency (JST) and Japan International Cooperation Agency (JICA) has been started.

The project is composed of four research groups.

The first is "Earthquake Source Model research" group. Long-term OBS observation, Electromagnetic observation, Seafloor extensometer observation and Trench survey studies will be conducted in order to identify the detailed seismic zone, fault geometry, 3D Velocity structure and reliable crustal deformation beneath the Sea of Marmara.

The second is "Tsunami prediction based on earthquake cycle simulation research" group. In this group earthquake and tsunami occurrence scenarios will be proposed based on especially the research Group 1's outputs and current knowledge on NAF's seismic activities. The outputs will be used for the simulation of strong ground motion, developing of advanced hazard maps and a tsunami early warning system.

The third is "Seismic characterization and damage prediction research" group. This group focuses on modeling of 3D velocity structure, theoretical prediction of ground motion and evaluation of existing structures in the selected urban areas using research outputs of the other groups. Also there will be an attempted of making an urban area model for Istanbul using available data for this area, and to execute earthquake hazard and disaster simulation for various scenarios of a possible earthquake. Improved hazard maps and visual materials for disaster education are expected.

The fourth is "Disaster education using research result visuals from each research" group In group four, effective use of media in the dissemination of disaster information will be examined and disaster management planning through regional disaster prevention community will be encouraged. as well as, using the research visuals a disaster prevention education program will be conducted through media, web, local communities and schools.

Goals of the project are as follows,

- 1- To develop disaster mitigation policy and strategies based on multidisciplinary research activities.
- 2- To provide decision makers with newly found knowledge for its implementation to the current regulations.
- 3- To organize disaster education programs in order to increase disaster awareness in Turkey.
- 4- To contribute the evaluation of active fault studies in Japan.

Through the project, the research results will be integrated for disaster mitigation in The Marmara region and disaster education in Turkey. The details of SATREPS Japan-Turkey joint research project and latest achievements will be presented.

SSS23-P03

会場:3 階ポスター会場

時間:5 月 1 日 18:15-19:30

キーワード: sea bottom observation, earthquake disaster mitigation, tsunami disaster mitigation, disaster education, Turkey, SATREPS

Keywords: sea bottom observation, earthquake disaster mitigation, tsunami disaster mitigation, disaster education, Turkey, SATREPS

宮城県北部の建物被害データを用いた2011年東北地方太平洋沖地震の建物被害関数 Fragility curves of buildings during the 2011 Tohoku Earthquake using the damage data in the northern Miyagi Prefecture

呉浩^{1*}; 正木和明²; 入倉孝次郎³; 倉橋奨³

WU, Hao^{1*}; MASAKI, Kazuaki²; IRIKURA, Kojiro³; KURAHASHI, Susumu³

¹ 愛知工業大学大学院工学研究科, ² 愛知工業大学都市環境学科, ³ 愛知工業大学地域防災研究センター

¹Graduate School of Engineering, Aichi Institute of Technology, ²Department of Urban Environment, Aichi Institute of Technology, ³Disaster Prevention Research Center, Aichi Institute of Technology

Damage ratios in subdistricts of Osaki and Kurihara cities, northern of Miyagi Prefecture are obtained from the damage data provided by the local City Offices. Ground motions in these subdistricts are estimated by use of source model proposed by Kurahashi and Irigura (BSSA, 2013) and underground velocity structures identified from microtremor H/V spectral ratios. The estimated ground motion indices (PGA, PGV, I_{JMA} , and SI) are used to relate with the damage ratios to construct the fragility curves. It is found that the correlation in small subdistricts is improved, compared with that between the observed ground motion indices and corresponding damage ratios in a wider district.

In addition, we have added some microtremor measurement at plural sites inside each subdistrict, such as Furukawa, and Tajiri, in order to assess the representativeness of ground motions estimated at only one site for the entire subdistrict. We conducted such measurement at or near the preliminary schools inside the subdistricts. The ground motions during the mainshock are estimated with the identified velocity structures from the microtremor H/V spectra ratios. It is found that the variability of ground motions in the Furukawa subdistrict is relatively small. It suggests that the ground motions used for the fragility curves are representative for the entire subdistrict. In contrast, the variability of ground motions in Tajiri is relatively large. It may be caused by the limited numbers of preliminary schools with similar amplification factors.

キーワード: 建物被害曲線, 微動 H/V スペクトル比, 地下速度構造, 地震動の代表性

Keywords: Fragility curve of buildings, microtremor H/V spectral ratio, underground velocity structure, representative of ground motions

IT 強震計による建物震動観測 — 東京大学安田講堂における観測 —
The earthquake vibration observation of the Yasuda auditorium using the IT Kyoshin
seismometer

伊藤 貴盛^{1*}; 鷹野 澄²
ITO, Takamori^{1*}; TAKANO, Kiyoshi²

¹ 慶應義塾大学, ² 東京大学 大学院情報学環/地震研究所
¹Keio University, ²ERI, The University of Tokyo

大地震による災害を軽減する為には、小さな地震のときに私たちの住宅や会社、学校など、身近な場所の揺れを調べてその弱点を探り、効果的な耐震対策をすることが有効と思われる。IT 強震計は、このような目的で、利用者自身が設置して利用する新しいタイプの強震計として考案された (鷹野他 2004)。

この IT 強震計を使用して、東京大学のいくつかの建物の振動観測を 2006 年より継続している。

安田講堂の改修工事が行われることとなり、工事の効果を確認するため、IT 強震計を設置して観測を行うことになった。

安価な標準的な IT 強震計に加え、微動計としても使用する高性能なセンサも併用して観測を行った。

現在、工事前の観測を終え、データを分析しており、その報告を行う。

工事が完了した後に、再び IT 強震計を設置して、比較を行う予定である。

参考文献

鷹野・伊藤・原 2004, IT 強震計-その概念と試作-, 地震学会秋季大会, 2004.10

キーワード: IT 強震計, 構造物ヘルスマニタリング, 情報, 防災

Keywords: IT Kyoshin (Strong Motion) Seismometer, Structural Health Monitoring

1次元システム同定のための地震波干渉法による建物応答からS波速度の抽出にねじれと曲げ振動の影響
The effect of torsional and bending vibration on shear-wave velocity extracting from building response by seismic interf

王欣^{1*}; 源榮 正人¹; 正木 和明²; 入倉 孝次郎³; 久田 嘉章⁴
WANG, Xin^{1*}; MOTOSAKA, Masato¹; MASAKI, Kazuaki²; IRIKURA, Kojiro³; HISADA, Yoshiaki⁴

¹ 東北大学災害科学国際研究所, ² 愛知工業大学工学部都市環境学科, ³ 愛知工業大学地域防災研究センター, ⁴ 工学院大学建築学部

¹International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University, ²Department of Urban Environment, Aichi Institute of Technology, ³Disaster Prevention Research Center, Aichi Institute of Technology, ⁴Department of Architecture, Kogakuin University

Because shear-wave velocity correlates with the shear rigidity of buildings, the decrease of it is a indicator of the loss of stiffness, which is possibly caused by structural damage or degradation. Therefore, shear-wave velocity identification is intended for use in health monitoring of upper structures excluding the effect of soil-structure interaction. Shear-wave velocity can be extracted from tracing the propagation of a pulse from normalized cross-correlation of the motion between two points based on the view of response as the wave vertical propagation process. In this study, the reference point is the top of the building (virtual source) instead of the base (physical source) which results in the transfer function including the effect of rigid-body rocking. However, for high-rise and eccentric structures torsional motion and bending motion is inevitable. In practical measurement of horizontal motions with single sensors located on the side not the core of the building plane, it is unavoidable to record the torsional response which mixed with the shear-mode motions. Therefore, the effect of torsional response to shear-wave velocity extraction should be deliberated on to avoid erroneous use of the travel time of torsional wave instead of that of shear wave. Furthermore, the extraction of shear-wave propagation from building vibration generally in bending mode is valid or not should be examined.

In this study, firstly a 3D model with eccentricity is used to calculate the horizontal and vertical impulse response to analyze the effect of torsional and bending response to shear-wave velocity extraction. And the method to eliminate the effects of torsional and bending vibrations to obtain the shear-wave propagation with high resolution is presented. Secondly, a practical use of earthquake records measured in a high-rise building to examine the effect of torsional and bending vibration to shear-wave velocity extraction. Thirdly, velocities of shear wave, torsional wave, and bending wave are extracted separately to evaluate the changes of stiffness before and after the Tohoku earthquake for health monitoring.

キーワード: 建物のせん断波速度, 逆重畳法, ねじれ応答, 地震波干渉, 建物システム同定, 東日本大震災

Keywords: shear-wave velocity of buildings, deconvolution method, torsional response, seismic interferometry, system identification, Tohoku earthquake

2013年オホーツク海巨大深発地震による世界の強震動 Global "strong" ground motions from the 2013 Sea of Okhotsk great deep earthquake

久家 慶子^{1*}
KUGE, Keiko^{1*}

¹ 京都大学大学院理学研究科

¹Dept. Geophysics, Kyoto University

This study presents the characteristics of global ground motions caused by the Sea of Okhotsk deep earthquake (Mw8.3) of May 24, 2013. The earthquake occurred at a depth of 609 km in the subducting Pacific plate, and it is now the largest deep earthquake ever recorded. According to reports in NEIC, the earthquake was felt at very long distances in the world, including Dubai (~76 degrees) and Moscow (~58 degrees). In this study, by using global broadband seismic data from IRIS DMC, we examine ground motions from the earthquake. For the 1994 Bolivia deep earthquake (Mw8.3), which was formerly the largest and were felt in North America, the distant ground motions were examined by Anderson et al. (1995) from the perspective of strong motion seismology. Due to the location, the 2013 Sea of Okhotsk earthquake was recorded by a much better coverage of global stations, compared to the 1994 Bolivia earthquake. This study is an opportunity for exploring the distant "strong" ground motions from the perspective of Anderson et al. (1995).

Peak ground accelerations (PGA) from the 2013 Sea of Okhotsk earthquake decrease as distance increases out to 120 degrees, and have a peak at a distance of approximately 140 degrees. The variation as a function of distance is similar to that of Anderson et al. (1995) for the 1994 Bolivia earthquake. The values of PGA are a few times larger than those from the Bolivia earthquake. At distances between 30 and 80 degrees, PGA are associated with vertical components of direct P waves, and the values of PGA are often in a range from 0.1 to 1 gal. Peak ground velocities (PGV) vary with distance in a similar way to PGA. The values of PGV at distances between 30 and 80 are lower than 0.1 cm/s.

Large PGA at distances between 30 and 80 degrees are observed in the Eurasian continent. The values of PGA in the western part of the continent are larger than those in the eastern part. Because this difference is also observed for PGA of P waves from an outer-rise shallow earthquake near the Kurile trench, it can be attributed to regional structure in the Eurasian continent. PGA from the 2013 deep earthquake are not low in the southern part of the continent, although from a deep earthquake beneath Sea of Okhotsk that has a different focal mechanism from that of the 2013 earthquake, PGA decrease toward the south as distance increases. The focal mechanism of the 2013 earthquake represents that the P wave radiation is the maximum along a ray toward Karachi, Pakistan. This P wave radiation can account for the observations of PGA in the southern part. Global "strong" ground motions from the 2013 Sea of Okhotsk deep earthquake are thus likely to be affected by regional structure and P wave radiation, as suggested by Anderson et al. (1995).

東濃地震科学研究所 (TRIES) の地震観測点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 amplitudes observed at TRIES seismographic stations

田中 寅夫^{1*}; 大久保 慎人²
TANAKA, Torao^{1*}; OKUBO, Makoto²

¹ 京都大学 名誉教授, ² 東濃地震科学研究所
¹ Kyoto University Emeritus Professor, ² Tono Research Institute of Earthquake Science

東濃地震科学研究所 (TRIES) の地震観測点は 1999 年 5 月に TRIES 点が設置され、順次拡張されて同年内に 10 点の観測網が完成した。この時期に観測された雑微動と地震動最大振幅の関係を探るため、TRIES 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は TRIES 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、0.1~10.0Hz の帯域でほぼ水平な振動特性である。トリガーによって、100Hz サンプリング記録が始まり、初動到来直前のデータから雑微動の最小振幅、それに続く地震動から最大振幅を求める。具体的には雑微動は数~10 秒間、地震動最大振幅については P 波、S 波または表面波部分を数秒~10 秒間、それぞれ離散フーリエ変換し、振幅を求めた。東濃地域における地震動観測から明らかにされた site effect に基づいて、振動数帯域を 2.0~4.0Hz の周波数帯域が地震動災害に大きく関わると予想し、上記帯域 2.0~4.0Hz を 20 区間の幅 0.1Hz 小帯域に分割して、各小帯域における地震動最大振幅と雑微動最小振幅を計算した。TRIES 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、例えば戸狩観測点は 10 個の雑微動データの解析であり、その信頼性はまだ高くない。結果は全て雑微動最小振幅、地震動最大振幅とも TRIES 点の値で除した相対値で与えて、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。恵那、瑞浪、明智、岩村、名滝、御高、土岐、犬山など全 10 観測点における予備的解析結果であるが、雑微動最小振幅と地震動最大振幅には有意な関連性が認められ、site effect を周波数帯域 2.0~4.0Hz におけるスペクトル振幅として表現することが出来た。

キーワード: 雑微動, 地震動, 離散フーリエ変換, 地盤, 最大振幅, サイト トクセイ

Keywords: microtremor, seismic waves, discrete Fourier transform, ground soil, largest amplitude, site effect

距離減衰式評価手法に関する数値実験

A study on model selection methods for ground-motion prediction equations using synthetic data

野田 朱美^{1*}; 呉 長江²; 司 宏俊³; 西條 裕介¹; 焦 凝¹
NODA, Akemi^{1*}; WU, Changjiang²; SI, Hongjun³; SAIJO, Yusuke¹; JIAO, Ning¹

¹ 構造計画研究所, ² 原子力安全基盤機構, ³ 東京大学地震研究所

¹Kozo Keikaku Engineering Inc., ²Japan Nuclear Energy Safety Organization, ³Earthquake Research Institute, University of Tokyo

Numerous ground motion prediction equations (GMPEs) have been proposed for the purpose of assessing seismic hazard. However, a critical problem is that how to select appropriate GMPEs for the application of GMPEs to practical engineering problems.

Recently some model selection methods for GMPEs that evaluate the agreement between observed and predicted data have been proposed. In present study, in order to check the properties of model selection methods, we compare the model selection methods by using artificial dataset generated by a known GMPE. As candidate model selection methods, we have chosen three methods, that is, analysis of root mean square residual (RMR), the log-likelihood method (LLH method, Scherbaum et al., 2009, BSSA) and the Euclidean distance-based ranking method (EDR method, Kale and Akkar, 2013, BSSA). The analysis of RMR is one of the simplest methods to evaluate the difference between observed data and medians of GMPE model. On the other hand, the LLH method quantifies the distance between observed data and GMPEs defined as probability density function (both of median and standard deviation), based on information-theoretic perspective. However, Kale and Akkar (2013) points out the problem that the LLH method may favor GMPEs with larger standard deviations. The EDR method considers not only ground-motion uncertainty of model through standard deviation, but also agreement between the median estimations of models and observed data trend (model bias).

First, we assumed a vertical strike-slip fault with moment magnitude 7.0. We randomly chose 200 sites, whose fault distances are up to 200km. Next, we calculated theoretical PGA and response spectral acceleration for 16 periods using ground motion prediction model of Chiou and Youngs (2008, Earthq. Spectra), which is referred to as CY08 hereafter. And, we generated three kinds of synthetic dataset by adding three types of random noise with (1) zero standard deviation, (2) standard deviation of CY08, and (3) twice the standard deviation of CY08, respectively.

We selected five candidate GMPEs, that is, CY08, Abrahamson and Silva (2008, Earthq. Spectra), Campbell and Bozorgnia (2008, Earthq. Spectra), Zhao et al. (2006, BSSA) and Kanno et al. (2006, BSSA), and ranked the performance of candidate GMPEs for each synthetic dataset. In analysis of RMR that does not account for standard deviations of the prediction models, CY08 is stably ranked the best performing model for all kinds of synthetic dataset. The LLH method basically ranked CY08 as the best performing model for synthetic dataset (1) and (2), but it favored GMPEs with larger standard deviations for synthetic dataset (3). It suggests that the standard deviation of model is emphasized more than the median when we apply the LLH method to poor quality data. In the EDR method, in principle, the parameter to measure the level of model bias of CY08 is not able to be calculated for synthetic dataset (1) that does not have random noise. For synthetic dataset (2) and (3), however, the EDR method ranked CY08 as the best performing model both in the point of view of model uncertainty and model bias.

キーワード: 距離減衰式, 強震動予測モデル, 残差の二乗平均平方根, 対数尤度法, ユークリッド距離ランキング法

Keywords: attenuation relationship, ground motion predicting equation, root mean square residual, the log-likelihood method, the Euclidean distance-based ranking method

新しい地震動予測式による地震ハザード評価 Seismic hazard assessment using a new ground motion prediction equation

森川 信之^{1*}; 藤原 広行¹; 奥村 俊彦²; 藤川 智²
MORIKAWA, Nobuyuki^{1*}; FUJIWARA, Hiroyuki¹; OKUMURA, Toshihiko²; FUJIKAWA, Satoshi²

¹ 防災科学技術研究所, ² 清水建設株式会社

¹National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, ²Shimizu Corporation

地震調査研究推進本部による「全国地震動予測地図」では、司・翠川(1999)の最大速度の式(距離減衰式)による地震ハザード評価が行われており、震度の評価については最大速度との経験的な関係式による変換がなされている。現在の地震ハザード評価においてはモーメントマグニチュード(M_w)が9クラスの地震まで考慮することが必要不可欠となっているが、司・翠川(1999)の式はM_w8.3までの地震による強震動記録から求められており、それよりも規模の大きな地震に対しては、振幅が頭打ちするという仮定のもとで適用されている。本検討では、2011年東北地方太平洋沖地震の観測記録も含めて求めた新しい地震動予測式により地震ハザードを試算し、全国地震動予測地図と比較した結果について報告する。

対象とする地震動は、工学的基盤上(ここでは、V_s=400m/s層上面とする)の最大速度および地表の最大速度と計測震度とした。地表の値は、約250mメッシュの微地形分類全国マップに基づく表層30mの平均S波速度を用いて求めた。

まず、予測式から求められる地震動分布を比較した。ここでは、地殻内の地震として、①糸魚川-静岡構造線断層帯(M_w=7.4)、②六日町断層帯(M_w=6.6)、海溝型プレート間地震として、③南海トラフの最大クラスの地震(M_w=9.1)、④十勝沖地震(M_w=8.1)、海溝型プレート内地震として、千島海溝沿いのやや浅い地震(M_w=8.2)、千島海溝沿いのやや深い地震(M_w=7.5)を対象とした。いずれの地震についても、最大速度の比較では、工学的基盤上と地表のいずれも、新しい式で考慮した深部地盤による増幅特性の影響が顕著に見られ、新しい式で平野部が大きく、山地部で小さくなる。ただし、深部地盤の影響は地表の計測震度ではそれほど顕著ではない。また、最大速度と計測震度で共通に見られる傾向として、海溝型地震における遠方の地域(おおむね100km以上)で新しい式の予測値が小さくなっている。ただし、震源の深さが30kmよりも深い地震については、司・翠川式の距離減衰よりも観測記録の減衰の傾きが急で過大評価することが指摘されており(翠川・大竹, 2002)、実際に、観測記録との比較からも新しい式による予測結果が妥当であることを確認している。

続いて、南海トラフの巨大地震を対象とした地震ハザードを比較した。ここで、震源域および各震源域に対する「重み」の設定は地震調査委員会(2013)のものを用いた。また、ばらつきの値は、「全国地震動予測地図」における値をそのまま用い、計測震度(I)については、その半分の値(I/2)に対して正規分布を仮定して同じ値を適用した。上述の地震動分布の比較から予想される通り、全体的に新しい式によるハザードは特に遠方の日本海側で大きく減少する。ただし、深部地盤による増幅が特に大きい関東平野や大阪では極端な減少とはなっていない。また、計測震度で見た場合、低確率で反対に新しい式による結果の方が大きい場合も見られた。これは、設定しているばらつきの値が一致していないことが影響していると考えられる。ばらつきの値については、従来の評価で用いられているものから変更するのに十分な知見が得られていないことから現状のままとしているが、地震ハザード評価における適切なばらつきの値を設定するための検討が今後さらに重要となってくる。

キーワード: 地震ハザード評価, 地震動予測式, ばらつき

Keywords: seismic hazard assessment, ground motion prediction equation, variance of ground motion

超高密度地震観測による宮城県大崎市古川地区の地盤震動特性の評価 Ground amplification estimates based on very dense seismic array observation in Furukawa district, Osaka, Japan

後藤 浩之^{1*}; 盛川 仁²; 稲谷 昌之¹; 小倉 祐美子²; 徳江 聡²; 濱崎 翔平²; ZHANG XINRUI²; Sakkrawit Sripunyaphikhup²; 岩崎 政浩³; 荒木 正之⁴; 澤田 純男¹; Zerva Aspasia⁵
GOTO, Hiroyuki^{1*}; MORIKAWA, Hitoshi²; INATANI, Masayuki¹; OGURA, Yumiko²; TOKUE, Satoshi²; HAMASAKI, Shohei²; ZHANG, Xinrui²; SAKKRAWIT, Sripunyaphikhup²; IWASAKI, Masahiro³; ARAKI, Masayuki⁴; SAWADA, Sumio¹; ZERVA, Aspasia⁵

¹ 京都大学, ² 東京工業大学, ³ 大崎市, ⁴ (株) aLab, ⁵ Drexel University

¹ Kyoto University, ² Tokyo Institute of Technology, ³ Osaka city, ⁴ aLab Co.Ltd, ⁵ Drexel University

2011 年東北地方太平洋沖地震では太平洋沿岸の津波被害だけでなく、東北地方から関東地方にかけての広い範囲で内陸部でも地震動による被害が発生した。震度 6 強を観測した宮城県大崎市古川地区では、地震動による建物被害、液状化被害が顕著であったことが報告されている (Goto and Morikawa, 2012 など)。地区内でも被害の顕著な地域は限定的であったため、地盤震動特性の違いによる影響が考えられていた。そこで、古川地区内の地盤震動特性を評価する事を目的として、同地区内で超高密度地震観測を展開することにした (Goto et al., 2012)。

2011 年 9 月に観測を開始して以降、観測点数を徐々に増やしながら観測を継続し、2014 年 2 月現在では 36 点が稼働している。観測網は古川地区市街地を中心として東西 2km、南北 3km のエリアをカバーしており、従来の高密度地震観測と比べても 1 オーダー密な観測を実現している。センサーには ITK-002 を採用し、常時接続回線を利用したリアルタイム連続観測を実現している。イベント記録は、連続記録からポストトリガーで切り出して処理しており、2014 年 2 月現在で 92 イベントの記録を公開している。

地震記録の水平／水平スペクトル比を利用して各観測点直下の地盤構造を推定したところ、工学的基盤までの表層厚さは対象地区内で 10-30m ほどであり、地震動による被害の顕著であった地域で深い傾向にあった (稲谷他, 2013)。これは、重力探査による基盤深さの推定結果などとも整合した結果であるため、古川地区では地盤震動特性が空間的に変化している傾向を明らかにした。また、PGA, PGV, SI, 計測震度といった各種地震動指標の大きさを観測点毎に分析したところ、古川地区では PGV と計測震度で似た傾向があること、被害の顕著であった地域でいずれの値も大きくなる傾向にあることが確認された。ただし、地震動指標の増幅度を反映すると考えられる空間平均からの偏差はイベント毎に大きくばらつくため、有意に揺れやすいかといった統計的な議論が必要である事も示唆している。

本地震観測では古川地区在住のボランティアの方の自宅や事務所に地震計を設置しているため、地震観測で得られた震度の情報やリアルタイム波形を提供して、その貢献に対するフィードバックを実施していることも特徴である。2014 年 3 月をもって研究者主導の地震観測プロジェクトを終了するが、地域に根ざした地震情報の利活用という目的で地域コミュニティをベースとした枠組みでの観測継続を試みている。

参考文献

大崎市古川高密度地震観測プロジェクト: <http://sn.catfish.dpri.kyoto-u.ac.jp/>

Goto and Morikawa: Ground motion characteristics during the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, *Soils and Foundations*, 52(5), 769-779, 2012.

Goto, Morikawa, Inatani, Ogura, Tokue, Zhang, Iwasaki, Araki, Sawada and Zerva: Very dense seismic array observations in Furukawa district, Japan, *Seism. Res. Lett.*, 83(5), 765-774, 2012.

稲谷昌之, 後藤浩之, 盛川仁, 小倉祐美子, 徳江聡, Xin-rui Zhang, 岩崎政浩, 荒木正之, 澤田純男, Aspasia Zerva: 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), 1.758-766, 2013.

キーワード: 地盤震動, 古川地区, 超高密度地震観測

Keywords: Ground amplification, Furukawa district, Very dense seismic array observation

地盤伝達関数展開を利用した地盤増幅特性の分解法について Physics-based decomposition of ground amplification using ground transfer function expansion

後藤 浩之^{1*}
GOTO, Hiroyuki^{1*}

¹ 京都大学防災研究所
¹ DPRI, Kyoto University

表層の地盤震動特性は、地域の地震ハザードレベルを相対的に理解するためにも重要である。従来、様々な方法で地盤震動特性を定量的にモデル化する試みがなされてきたが、広い範囲で面的に評価するためには AVS30 などの単純化された指標に頼らざるを得なかった。単純でありながらも物理的背景を持つような特性化手法が存在するのであれば、非常に実用的であろう。

本発表では、単純な非減衰 2 層系伝達関数列によって任意の複素関数を級数展開できる、という特徴を利用して、任意の地盤増幅特性を級数展開した場合にその係数は物理的にどのように理解できるか、ということ論じる。この展開の存在や一意性については数学的に厳密に議論されているが、上述したような目的に利用するためには具体的に物理と対応させる事も重要である。

ここでは、いくつかの数値実験を行う事でその物理的性質を確認した。一例として、中間層の物性をランダムに構成した水平多層地盤についてその伝達関数を級数分解した。中間層が均質である 2 つの極端なモデルについて、それぞれに対応する展開係数の絶対値を調べると、中間層の平均インピーダンス比との間により対応が見られた。このことは、展開係数がそれぞれのモデルからの寄与の割合という物理的な意味を持つことを示唆するものである。

参考文献

Goto, H.: Series expansion of complex ground amplifications with a sequence of simple transfer functions, Earth. Engng. Struct. Dyn., 投稿中.

後藤浩之: 地盤伝達関数のクロスタームに関する基本的な性質, 土木学会論文集 A2, 69(2), I.435-446, 2013.

キーワード: 地盤震動, 地盤増幅, 関数展開
Keywords: Ground amplification, Function expansion

震源深さの違いに着目した、堆積盆地を含む3次元構造中の波動場に関するケーススタディ Case study on the wavefield in the 3D structure including sedimentary basin and the effect of source depth on it

有末 真穂¹; 寛 楽磨^{1*}
ARISUE, Maho¹; KAKEHI, Yasumaro^{1*}

¹ 神戸大・理

¹ Faculty of Science, Kobe University

堆積層の存在は、表面波の生成に大きく影響すると考えられている。2011年4月11日の福島県浜通りの内陸地震(Mw 5.5, 深さ 10.6 km)では、震源から約 150 km 以上離れた新潟堆積盆地内の観測点で、長周期の表面波が記録され、波の継続時間は 100 秒以上に及んだ。一方、2012年4月1日に福島沖で発生した深いプレート境界地震(Mw 5.7, 深さ 53 km)においても、同一観測点で得られた記録は、波の継続時間が 100 秒に及び、前述の地震と波の継続時間に差はみられなかった。これは、震源が浅い地震の方が、表面波がよく発達するということと一見矛盾するように考えられる。

本研究では、震源深さの違いが盆地内の波動場に与える影響を検討する為に、震源深さが異なる地震を対象に、差分法を用いた数値シミュレーションにより堆積盆地を含む3次元構造中の波動場に関するケーススタディを行った。計算領域は、福島県沖から新潟堆積盆地までを対象とし、以下の3つの数値シミュレーションを行った。

数値シミュレーション1では、2次元構造に円形の均質盆地を加えた単純な地下構造モデルを仮定した。震源は深さ 5 km と 85 km の位置に点震源を仮定し、震源継続時間は 3 秒とした。その結果、浅い地震、深い地震いずれの場合においても、盆地内の波の継続時間は 50 秒程度となり、震源深さの違いにより大きな差は生じなかった。盆地手前では、浅い地震の方が深い地震に比べ波の継続時間が 10 秒程度長かったが、盆地内の波の継続時間である 50 秒程度に比べ、この 10 秒という差が小さかったため、盆地内の波の継続時間に大きな差は生じなかったと解釈される。

数値シミュレーション2では、1と同様に均質円形盆地と2次元構造からなる単純な地下構造モデルを仮定し、均質盆地の物性値の違いに着目したケーススタディを行った。震源は深さ 5 km と 75 km の位置に点震源を仮定し、震源継続時間は 3 秒とした。その結果、浅い地震、深い地震いずれの場合においても、均質盆地内の S 波速度が遅いほど、盆地内の波の継続時間は長くなった(盆地内の波の継続時間は、均質盆地内の S 波速度 0.5 km/s の場合は 125 秒、1.0 km/s の場合は約 90 秒、2.0 km/s の場合は約 40 秒)。これは、均質盆地内の S 波速度が遅いほど、S 波と 2 次的に励起されたレイリー波のそれぞれの波の到達時間の差が大きくなったと考えられる。

数値シミュレーション3では、堆積盆地の内外ともリアリスティックな3次元地下構造モデルを仮定し、波動場を計算した。地下構造モデルには、Koketsu et al. (2012) の全国一次地下構造モデル(暫定版)を用いた。震源は深さ 5 km と 75 km の位置に点震源を仮定し、震源継続時間は 3 秒とした。その結果、浅い地震、深い地震いずれの場合においても、新潟堆積盆地内の波の継続時間は 90 秒程度と長くなった、最大振幅は、盆地手前に比べ、浅い地震では約 2 倍、深い地震では約 6 倍と非常に大きくなった。

リアリスティックな地下構造モデルの場合(数値シミュレーション3)と、速度、密度構造が2次元の単純な地下構造モデル(数値シミュレーション2)の計算結果を比較したところ、盆地内では、リアリスティックな地下構造を用いた場合の方が、単純なモデルに比べ、連続的な波群を持つ複雑な波形が得られた。一方、盆地手前の波形は、浅い地震、深い地震それぞれを比較して、振幅、継続時間共に顕著な差が見られなかった。この結果から、盆地内の波動場には、震源から盆地に至るまでの地下構造よりも、主として盆地そのものの構造が影響すると考えられる。

謝辞: 本研究では、防災科学技術研究所の強震観測網(K-NET)、基盤強震観測網(KiK-net)の強震波形データ、F-netのメカニズム解のデータ、気象庁一元化震源データを使用させて頂きました。差分法による数値シミュレーションは、防災科学技術研究所の青井真博士をはじめとする関係者の方々によって開発されたGMS(Ground Motion Simulator)(青井・他, 2004) 1.6.0によって行いました。また波動場の計算には、東京大学の瀧川一博博士が作成した全国一次地下構造モデル(暫定版)と、東北大学の中島淳一博士が作成した太平洋スラブの上面形状のデータを利用させて頂きました。記して感謝致します。

キーワード: 堆積盆地, 表面波, 数値シミュレーション, 震源深さ

Keywords: sedimentary basin, surface wave, numerical simulation, source depth

盆地堆積層内の表面波の伝播-関東平野中央部における局所的な伝播速度の変化- Surface wave propagation in the large-scale sedimentary basin: distinct lateral variation of Love wave velocity around m

武村 俊介^{1*}; 吉本 和生¹
TAKEMURA, Shunsuke^{1*}; YOSHIMOTO, Kazuo¹

¹ 横浜市立大学
¹Yokohama City University

観測波形に見られる特徴

2013 年 2 月 25 日に栃木県北部で起きた地震による関東平野内で周期 4-8 秒の表面波の伝播の特徴を調べたところ、埼玉県南部の岩槻周辺のわずか 20 km の範囲で Love 波の伝播速度が 0.4-0.8 km/s と大きく変化していることが明らかとなった。この特徴は他の地震（例えば新潟県中越地方の地震）でも観測されており、関東平野中央部の狭い領域で堆積層内の速度構造または地震基盤構造が大きく変化していることが原因と考えられる。

3次元差分法による地震動シミュレーション

比較的単純な地震基盤構造で堆積層内の速度構造は指数関数型の速度勾配を持つ構造 (Ravve and Koren, 2006; Yoshimoto and Takemura, 2014) を仮定して、3次元差分法による地震動シミュレーションを行い、Love 波の伝播特性が地震基盤構造と堆積層内の速度構造により、どのように変化するかを調べた。

シミュレーションの結果、Love 波の伝播速度は深さ 2 km 以深の地震基盤構造よりも 1.5 km 以浅の浅部 S 波速度に非常に敏感であり、浅部 S 波速度構造の違いで観測される伝播速度の違いが説明できることが明らかとなった。4-8 秒程度の Love 波の伝播速度が浅部不均質のみで決まることはセンシティビティ解析からも明らかであり、埼玉県南部で見られた狭い範囲での Love 波の伝播速度の変化は地表付近の S 波速度の違いによるものと考えられる。

2013 年栃木県北部の地震の地震動シミュレーション

表面波の伝播速度解析の結果と関東平野内の 14 点の中深層観測井における VSP 調査 (山水, 1996; Yamamizu, 2004) の結果を元に、堆積層内の S 波速度構造モデルを構築した。構築した速度構造の妥当性を確認するために、栃木県北部の地震の地震動シミュレーションを行った。堆積層内以外の速度構造については、JIVSM (Koketsu et al., 2008) を用いた。

地震動シミュレーションの結果、構築した速度構造モデルを用いることで埼玉県南部における表面波の伝播速度および振幅、そして関東平野全域における 0.125-0.25 Hz の PGV の特徴を再現することができた。

謝辞

防災科学技術研究所の K-NET/KiK-net および首都圏強震動総合ネットワーク SK-net の波形記録を使用させていただきました。数値シミュレーションには海洋研究開発機構の地球シミュレータを使わせていただきました。

キーワード: 長周期地震動, 盆地構造, 地震動シミュレーション, 表面波
Keywords: long-period ground motion, basin structure, numerical simulation, surface wave

付加体の有無を考慮した関東平野の長周期地震動シミュレーション Long-Period Ground Motion Simulation in the Kanto Basin with/without Accretionary Prism

郭雨佳^{1*}; 瀨瀬 一起¹; 三宅 弘恵¹
GUO, Yujia^{1*}; KOKETSU, Kazuki¹; MIYAKE, Hiroe¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ Earthquake Research Institute, University of Tokyo

プレート境界地震の場合、震源付近で生成された周期の長い地震波は平野や盆地の直下にある厚い堆積層に入り、そこで大きく増幅される。このような長周期地震動は大規模構造物などに大きな被害をもたらしている。例えば、2003 年十勝沖地震 (M_w 8.3) の際、震源から約 250 km 離れた、厚い堆積層の上に位置する苫小牧市において周期 7-8 秒の地震動が卓越し、それによって大型の石油タンク 2 基がスロッシングを起こし火災が発生した (Koketsu *et al.*, 2005)。2011 年東北地方太平洋沖地震 (M_w 9.0) においても、長周期地震動が震源から離れた大阪平野や関東平野で観測され、一部の高層建築物で揺れが 10 分程度継続するなど、被害が出た (JMA, 2011)。

また、近い将来南海トラフでの発生が懸念されるプレート境界地震でも、関東平野・濃尾平野・大阪平野などにおいて長周期地震動の発生が予想されている (Furumura *et al.*, 2008)。日本海溝または千島海溝と異なり、南海トラフではその陸側に厚さ数 km の比較的軟弱な付加体が発達している。したがって、南海トラフでのプレート境界地震による長周期地震動を評価する際、地震波の伝播経路にあたる付加体の影響の検討は重要である。Yamada and Iwata (2005) は近畿地方を対象とした長周期地震動シミュレーションを通じて、付加体は直達 S 波の振幅を抑えるものの、地震動の継続時間を長くするという結論を得ている。本研究では、付加体が伝播経路のみならず関東平野内の長周期地震動に与える影響を調べるため、2004 年 9 月 5 日 19 時 7 分頃に発生した紀伊半島南東沖地震の前震 (M_w 7.1) を用いて長周期地震動シミュレーションを行った。

シミュレーションでは点震源を仮定し、震源パラメータや震源時間関数は Yamada and Iwata (2005) と同様とした。ただし、沈み込むフィリピン海プレートとの対応を取るため、震源の深さは Yamada and Iwata (2005) よりやや浅い約 16 km とした。また、三次元速度構造モデルは全国 1 次速度構造モデル (Koketsu *et al.*, 2008, 2012) を使用した。シミュレーションではボクセル有限要素法 (Ikegami *et al.*, 2008) を使用し、0.05-0.3 Hz の帯域において破壊開始時刻から 6 分半の波形を計算した。解析領域はおよそ 564 km × 198 km × 深さ 61 km であり、その外側に幅約 54 km の無反射境界を設けた。計算メッシュの大きさは深さに応じて変化させ、最も細かい所で一辺の長さが 175 m の立方体を設定した。南海トラフの付加体の有無による波形の違いを比較するため、付加体にあたる S 波速度 1.0 km/s の層を 3.2 km/s に変換し、付加体が存在しないと仮定した場合のシミュレーションも実施した。

付加体の有無による二種類のシミュレーションの結果、次の結論を得た。付加体ありの三次元速度構造モデルによる波形は付加体なしの場合と比べて、直達波の振幅は小さいが、後続波の振幅はやや大きい傾向にある。この結果は Yamada and Iwata (2005) と整合的である。後続波の振幅が大きくなる原因として、付加体領域内にトラップされた波が絶えずに表面波に変換され、その表面波が関東平野に入射し、関東平野内を伝播する波と重なり合った結果によるものと考えられる。

キーワード: 長周期地震動, 付加体, 南海トラフ, 関東平野

Keywords: Long-period ground motion, Accretionary prism, Nankai trough, Kanto basin

強震動記録と 1Hz GPS 記録を用いた 2011 年東北地方太平洋沖地震のセンブランスアレイ解析 Semblance analysis for the 2011 Tohoku earthquake using strong-motion and 1Hz GPS data

久保 久彦^{1*}; 岩田 知孝¹; 浅野 公之¹
KUBO, Hisahiko^{1*}; IWATA, Tomotaka¹; ASANO, Kimiyuki¹

¹ 京都大学防災研究所

¹DPRI, Kyoto Univ.

地震の震源過程の解析には震源インバージョンがよく用いられる。しかしながら震源インバージョンにはいくつかの仮定や拘束条件が必要であり、それらの設定が解析結果に大きな影響を及ぼすことがある。他方でアレイ解析は地震波の放射イメージを直接的に抑えることができる。本研究は強震動記録と 1Hz GPS 記録を用いたセンブランスアレイ解析を行い、2011 年東北地方太平洋沖地震（以下 2011 年東北地震）の地震波放射特性を調べた。

本研究では気象庁震度計、防災科学研究所 K-NET・KiK-net・F-net で観測された強震動記録に加えて、国土地理院 GEONET で観測された 1Hz GPS 記録を用いる。強震動記録だけでなく 1Hz GPS 記録を用いることによって観測点密度が増加し、先行研究 (Kubo & Kakehi, 2013) に比べて利用可能なアレイ数が格段に増加した。F-net 記録を除く強震動加速度記録は積分し速度波形にする。1Hz GPS 記録は RTKLIB Version 2.4.2 (Takasu, 2013) を用いた Kinematic PPP 処理によって変位波形に変換し、さらに微分し速度波形にする。これらの速度波形に 10-25 秒のバンドパスフィルターをかけ、0.1s でリサンプリングしたものを解析に用いる。観測点間距離が 3km である GEONET 観測点と強震動観測点での 2011 年東北地震時記録の比較から、上記周期帯域では 1Hz GPS 記録をアレイ解析に用いても問題ないことを確認している。

センブランスアレイ解析は Kubo & Kakehi (2013) と同じ手法を用いる。この手法では複数のサブフォルトで構成される震源断層面をまず仮定する。そして、入射波が球面波だと仮定した上で、各サブフォルトでそれを地震波の発生源とした場合のセンブランス値を算出し、断層面上に投影する。これを時間ごとに行うことで、震源断層面上での地震波の放射位置の時間変化を追うことができる。平面波入射を仮定したセンブランス解析で推定された見かけ速度は約 4km/s であり、またそれには分散が見られないことから、各アレイに到来している地震波は S 波だと判断して解析を行った。走時計算をする際の地下速度構造には Asano & Iwata (2012) の水平成層速度構造モデルを用いる。本解析では東北地方及び関東地方において全 9 つのアレイを構築し、理論 S 波到達時刻（破壊開始時刻に相当）から 250 秒間の各アレイでのセンブランスイメージを求めた。センブランス値を計算するタイムウィンドウは 20 秒とし、タイムシフトは 10 秒とした。ここでのセンブランス値は 3 成分それぞれで計算した値を平均したものである。

推定された地震波放射イメージは緯度 39 度以北に位置するアレイと緯度 39 度以南に位置するアレイで異なる。前者のアレイでのイメージからは約 150 秒後まで宮城県沖から地震波が強く放射され、その後も宮城県沖及びその北部から地震波が弱いながらも放射されていたことが分かる。一方で後者のアレイでのイメージからは震源周辺の地震波放射は約 100 秒までであり、その後は地震波放射源が福島県沖・茨城県沖の深部に移動していき、その放射は約 180 秒まで継続したことが分かる。このイメージの違いは 2011 年東北地震における地震波放射源が震源域南部に広がっていったこと、また宮城県沖では長時間（~200 秒）にわたって地震波が放射されていたことを示す。発表では傾斜方向の地震波放射源の空間変化に関しても考察を行う予定である。

【謝辞】解析には気象庁震度計、防災科学技術研究所 K-net・KiK-net・F-net の強震記録及び国土地理院 GEONET の 1Hz GPS 記録を使用しました。

キーワード: 2011 年東北地方太平洋沖地震, 地震波放射特性, センブランスアレイ解析, 強震動記録, 1Hz GPS 記録

Keywords: The 2011 Tohoku earthquake, Seismic-wave radiation characteristics, Semblance analysis, Strong-motion data, 1Hz GPS data

三次元 Qs 構造を考慮した統計的グリーン関数による強震動の評価— 2011 年東北地方太平洋沖地震の広域的地震動予測への適用— Stochastic green function considering 3-D Qs structure-Predicting ground motion of the 2011 Tohoku Earthquake-

中村 亮一^{1*}; 植竹 富一²; 引間 和人²
NAKAMURA, Ryoichi^{1*}; UETAKE, Tomiichi²; HIKIMA, Kazuhito²

¹ 東電設計株式会社, ² 東京電力株式会社

¹Tokyo Electric Power Services Co.,Ltd., ²Tokyo Electric Power Company

広域の地震動評価を目的に、三次元減衰構造を考慮した統計的グリーン関数法による検討を進めてきた。今回は 2011 年東北地方太平洋沖地震への適用を試み、三次元減衰構造を考慮した場合 (3-DQs 値モデル) と、Q 値を一樣とした場合 (一樣 Qs 値モデル) で広域的な波形合成の比較を行った。

ここで用いた三次元減衰構造を考慮した統計的グリーン関数法は、Boore (1983) に基づき、各要素の震源スペクトルから伝播経路において三次元減衰構造を考慮して基盤スペクトルを求め、サイト増幅率を乗算して得られた地表等の振幅スペクトルに適合する要素波を Boore (1983) の包絡形を用いて作成した後、震源破壊等を考慮して足し合わせるものである。今回、3-DQs 値モデルとしての Qs 構造は中村 (2009) による 1Hz~10Hz の周波数範囲で求められているものを用いた。S 波速度構造は気象庁の JMA2001 を用いた。一樣 Qs は、 $Q_s=100f^{1.00}$ を与えた。地震動は、各 K-NET 及び KiK-net 観測点の地表で評価し、サイト増幅率は中村 (2009) が地盤分類毎に求めたものを用いた。

まず、三次元減衰構造の効果を見るために、震源は滑りが一樣なモデルを用いて、三次元減衰構造を考慮した場合 (3-DQs 値モデル) と、Q 値を一樣とした場合 (一樣 Qs 値モデル) を比較検討した。断層面は長さ・幅・滑り方向にそれぞれ $10 \times 10 \times 10$ に分割し、各要素の地震モーメントは Mw9 相当の 1000 分の 1 を一樣に与えた。また、応力降下量についても一樣に 25MPa を与えた。断層長・幅は 400km \times 200km とし、走向及び傾斜角は 200° 及び 15° を与え、破壊伝播速度は 2.5km/s とした。まず、3D-Qs 値モデルと一樣 Qs 値モデルによる計算結果を観測記録に対する最大加速度の対数残差 $\log_{10}(O/C)$ の標準偏差で比較する。観測記録が 100Gal 以上の地点を見ると前者が 0.224 に対して後者は 0.231 であり、3D-Qs 値モデルがやや小さい程度であるが、1Gal 程度以上の地点で見ると前者が 0.253 に対し後者は 0.360 となり、3D-Qs 値モデルの方が合致度が高い。広域の応答スペクトルの分布を見ると、北海道や近畿などの遠距離においては、一樣 Qs 値モデルを用いた場合には 1Hz 程度では過小評価となるのに対して、3-DQs 値モデルの場合には観測記録をよく再現する。三次元減衰構造 (中村,2009) の、たとえば西南日本の Q 値をみると、深さ 0-30km が $Q_s=88f^{0.93}$ であるのに対し、深さ 30-60km では $Q_s=155f^{0.66}$ であり、深い方で周波数依存性が弱く 1Hz の Q 値が大きく、10Hz では小さめである。遠距離では、波線は深く Q 値が大きい場所を長く伝播するため、1Hz 程度の地震波は、より減衰しにくいと解釈できる。

断層面上の短周期地震動を発生する領域は一般に狭い領域に限られ、2011 年東北地方太平洋沖地震の強震動については、SMGA モデル (Kurahashi and Irikura, 2011 など) や SPGA モデル (野津, 2012) によって説明されている。そこで、Kurahashi and Irikura(2011) による SMGA モデルを用いて検討を行ってみた。これは、5 つの SMGA からなるものである。なお、計算では、すべての SMGA で走向及び傾斜は 193° 及び 10° とした。計算結果の波形は、一樣震源モデルでは全体的に紡錘形であるが、SMGA 震源モデルでは震源に近い観測点では個々の SMGA に対応して波形が複数の波群に分かれ、SMGA モデルの方が観測記録形状をよく説明する。しかし、遠方の観測記録では紡錘形となっている場合があるのに対して、計算結果は複数の波群に分かれたままのものが多くみられる。これは、震源距離にかかわらず同じ包絡形状の要素地震を用い、伝播経路の散乱などの影響で継続時間が延びる効果が含まれていないことが、波形が途切れる一因と考えられる。一方、応答スペクトルをみると、今回の計算では一樣断層モデルと SMGA モデルで顕著な違いが見られなかった。

キーワード: 三次元減衰構造, 統計的グリーン関数, Qs, 2011 年東北地方太平洋沖地震, 深さ依存性, 強震動予測

Keywords: 3D attenuation structure, Stochastic green function, Qs, 2011 Tohoku earthquake, Depth dependence, Strong ground motion prediction

広帯域の強震動波形を用いた岩手・宮城内陸地震の強震動生成域の構築 Estimation of Strong Motion Generation Area during the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake using broadband strong ground

倉橋 奨^{1*}; 入倉 孝次郎¹
KURAHASHI, Susumu^{1*}; IRIKURA, Kojiro¹

¹ 愛知工業大学
¹ Aichi Institute of Technology

1. はじめに

2008 年岩手・宮城内陸地震 (Mw6.7) では、地震の揺れにより建物被害や土砂災害などの被害が発生した。この地震は、地表断層が見つかっており、かつ、断層直上を含めた震源に非常に近い観測点が存在することから、これらの強震動波形を利用した震源メカニズムの解明が可能な地震の一つである。特に、短周期から長周期までの広帯域に対応した強震動生成域の推定および強震動の発生メカニズムの把握は、将来の強震動予測のためにも重要である。本研究では、本地震の広帯域の強震動波形を用いた岩手宮城内陸地震の強震動生成域モデルの構築を目的としている。

2. これまでの強震動生成域震源モデル

筆者らは、2008 年と 2013 年に経験的グリーン関数法を用いて、フォワードモデリングにより強震動生成域の推定を行ってきた。

2008 年の強震動生成域震源モデル 1) は、遠地実体波を用いて推定された波形インバージョン結果を参考として、震源付近の観測点における本震観測記録の再現を主眼としてフォワードシミュレーションを実施されている。この解析では、強震動生成域が震源よりも南側だけでなく北側にも必要であることが示されている。しかしながら、解析で用いられている断層面の幾何学的位置関係に関しては、精度が十分でないという問題があった。

2013 年の強震動生成域モデル 2) は、地震直後に行われた高密度な余震観測記録により推定された精度の高い余震分布を利用して、正確な断層の幾何学位置を決めて解析を実施されている。特に、IWTH25 (一関西) の上下動成分に注目し、経験的グリーン関数法と理論グリーン関数を用いて、強震動生成域の再決定を実施している。しかしながら、震源極近傍の記録は IWTH25 (一関西) 観測点しか利用されておらず、必ずしも一般性のあるモデルになっていない可能性があった。

3. 広帯域の強震動波形を再現する強震動生成域の構築

本研究では、IWTH25 (一関西) 観測点のみならず、震源近傍の地震観測点を利用して、強震動生成域の推定を試みる。特に、震源極近傍の記録として荒砥沢ダムがありこの記録が利用できれば、本地震の震源メカニズムの解明に繋がると考えられる。特に、荒砥沢ダムの本震波形は、比較的大きな強震動が観測されていることから、ダムの近くに強震動生成域が存在する可能性があるため確認が必要である。

荒砥沢ダムの本震記録は、断層モデルの地表境界付近に存在しており、Near-field-term の影響を受けている可能性がある。したがって、経験的グリーン関数法を利用する場合、本震波形を再現するためには、経験的グリーン関数となる要素地震にも同様な Near-field-term を含んだものが必要と考えられる。もし、そのような余震がない場合は、低周波側は理論波形、高周波側は要素地震を利用したハイブリッド法による解析が必要となる。現在、このダムにおける余震記録は入手できていないが、入手可能であれば経験的グリーン関数法による解析を実施する予定である。本発表では、理論手法により震源モデルを構築して本震の再現を試みたので報告する。

キーワード: 岩手宮城内陸地震, 強震動生成域, 広帯域の強震動

Keywords: Iwate Miyagi Nairiku earthquake, Strong Motion Generation Area, broad-band Strong Ground Motion

2013年2月25日栃木県北部の地震の震源モデルと強震動シミュレーション Source Model and Strong Ground Motion Simulation for the 2013 Northern Tochigi Prefecture, Japan, Earthquake

染井 一寛^{1*}; 宮腰 研¹; 入倉 孝次郎²
SOMEI, Kazuhiro^{1*}; MIYAKOSHI, Ken¹; IRIKURA, Kojiro²

¹ 地盤研, ² 愛工大
¹G.R.I., ²A.I.T.

2013年2月25日栃木県北部の地震 (M_{JMA} 6.3) により, KiK-net 栗山西観測点 (TCGH07) (点震源距離約 5km) では, 1225 cm/s^2 , 39 cm/s (いずれも地表記録の3成分最大値) の大きな強震動記録が得られた. この地震の発生域では活断層が特定されておらず, その地震規模も比較的小さいことから, 震源を特定しにくい地震に分類される可能性がある. 本研究は, この地震によって TCGH07 で観測された強震動の生成メカニズムを明らかにすることを目的とする. ここでは, 周辺の観測記録を広帯域に再現し得る最適な震源モデルの構築を目指し, 2つのアプローチから本地震の震源像を推定した.

1つ目は, K-NET, KiK-net の計 15 地点の速度波形 (0.1-1.0 Hz) を対象としたマルチタイムウィンドウ線形波形インバージョン法 (Sekiguchi et al., 2000) による震源過程の推定である. 矩形断層面 (走向 12km × 傾斜 7km) を一辺 1.0 km の正方形の小断層で分割した. 各タイムウィンドウのすべり時間関数は, ライズタイム 0.6 秒の平滑化傾斜関数で表現し, 6つのタイムウィンドウを 0.3 秒間隔で置いた. また, 第 1 タイムウィンドウの破壊伝播速度 (FTWTV) は 2.4 km/s とした. なお, ライズタイムと FTWTV はパラメータを変えたインバージョンを行い, 波形フィットの残差が最小となる値を選択している. また, すべりの時空間方向の平滑化の強さは, ABIC により妥当な値を決定した. 一次元速度構造モデルは, 検層データなどを基にした初期モデルに対して, レシーバ関数と滑降シンプレックス法 (Nelder and Mead, 1965) を用いたモデルチューニングを行った. モデルの妥当性は余震を対象としてグリーン関数を計算し, 観測記録 (0.1-1.0 Hz) との比較を行うことで検証した.

波形インバージョンの結果, 最大すべり量が 0.98m, 断層面全体から解放された地震モーメントは $6.67 \times 10^{17} \text{ Nm}$ (M_w 5.8) であった. 大きなすべりを生じた領域は破壊開始点付近にあり, 主に北側, やや浅部に向かって広がっている. この傾向は, 引間 (2013) や芝 (2013) のすべり分布とも対応する. 今回の結果の各要素断層からの地震波の寄与とそれらの重ね合わせに注目し, 対象とした 0.1-1.0 Hz の周波数帯域における TCGH07 のパルス波形 (地表と地中) の生成要因を調べた. その結果, 震源近傍における横ずれ断層型の断層走向並行方向に対する放射特性による影響と, 破壊開始点から地表方向 (TCGH07 の方向) に向かう破壊伝播指向性に起因するパルス波形である事が明らかとなった.

2つ目は, 強震動生成領域 (SMGA) (Miyake et al., 2003) に注目し, より短周期の強震動 (0.3-10 Hz) を対象とした経験的グリーン関数法 (Irikura, 1986) による震源のモデル化を行った. 経験的グリーン関数 (要素地震) には 2013 年 2 月 25 日 23 時 32 分に発生した余震 (M_w 3.8) を採用した. SMGA の配置は, 波形インバージョンの結果を参考に破壊開始点を含んだ領域とし, SMGA のパラメータ (大きさ, 破壊開始点位置, ライズタイム, 破壊伝播速度) は, 加速度エンベロープと変位波形の残差評価を行い, 残差が最小となるパラメータをグリッドサーチにより探索した (Miyake et al., 2003).

推定された震源モデル (SMGA) は, 波形インバージョンによる大すべり領域と同様に, 主として北側, やや浅部に向かって破壊が伝播する様式である. TCGH07 の速度波形 (0.3-10 Hz) に着目すると, 速度波形に見られるパルス波は, やはり破壊伝播指向性 (破壊開始点から地表) によって生成されている事が確認できた. 一方で, 加速度波形に注目すると, 破壊伝播方向による違いは小さくなるが, 本モデルにおいて再現性は良好である. SMGA の応力降下量は, 16.4 MPa と内陸地殻内地震のアスペリティの平均応力降下量よりもやや大きく推定されているが, 震源近傍の記録は, 振幅が過大評価な地点もある.

これらの結果から, TCGH07 でのパルス波形はアスペリティ (SMGA) 近傍で放射特性の影響と, 傾斜方向の破壊伝播指向性の効果によって生成されたと考えられる. 1995 年兵庫県南部地震では, 断層の走向方向の線上において, パルス状の大振幅波形が観測され, その成因が横ずれ断層型地震の走向方向に対する破壊伝播指向性の効果によるものである事が知られている (例えば, Sekiguchi et al., 2002). 今回のケースでは TCGH07 は横ずれ断層の走向方向に対して真横に位置しているが, 上述した効果によっても, 大きな強震動が生成される可能性があることは重要な問題である.

キーワード: 2013 年栃木県北部の地震, 波形インバージョン, 経験的グリーン関数法, 震源モデル, 強震動シミュレーション
Keywords: The 2013 Northern Tochigi Prefecture, Japan, Earthquake, Waveform inversion, Empirical Green's function method, Source model, Strong ground motion simulation

2013年2月25日に栃木県北部で発生した地震(M 6.3)の震源過程—その2 ~経験的グリーン関数を用いた検討~ Source process of the Feb. 25, 2013 Tochigi Hokubu Earthquake (M 6.3) [2] -Analyses using Empirical Green's Functions-

引間 和人^{1*}
HIKIMA, Kazuhito^{1*}

¹ 東京電力株式会社
¹Tokyo Electric Power Company

◆はじめに

2013年2月25日に栃木県北部でM_J 6.3の地震が発生した。この地震の最大震度は5強であり、震源域が山間部であったことも影響し甚大な被害は報告されていない。しかし、震源近傍のKiK-net観測点(TCGH07, 栗山西)の地表地震計では1Gを超える加速度が記録された。このような観測波形は断層極近傍での強震動を考える上で貴重な記録である。その要因を考察するため、筆者は強震記録を使った震源インバージョン解析(引間,2013a)やサイト・伝播特性に関する検討(引間, 2013b)を実施してきた。しかし、震源過程解析に関しては十分な精度を有する地下構造モデルを構築することが難しく、理論的グリーン関数を使った解析では観測波形を十分に再現するには至っていない。そこで、今回は震源付近で発生した小地震を経験的グリーン関数として震源インバージョン解析を実施し、震源過程について検討を行った。

◆断層面・解析手順

断層面の設定は引間(2013a)と同様にした。まず、気象庁一元化データの初動読み取りデータを使い、本震・余震を合わせた2月25日から1週間の震源再決定を行った。震源決定はDouble Difference法[Waldhauser and Ellsworth (2000)]により行い、その際速度構造は気象庁一元化震源と同じJMA2001を使用した。本震の震源深さは気象庁一元化処理結果による2.8kmよりもやや深い3.5kmとなっている。仮定する断層面は、F-netのメカニズム解をもとに設定した。F-net解はほぼ純粋な横ずれ断層を示しているが、2つの節面のうち余震分布とおおむね一致する北北西-南南東の面(走向:165°, 傾斜:80°)に断層面を設定して解析を行った。

インバージョン解析は理論的グリーン関数を使った時と同様に、マルチタイムウィンドウ法[Yoshida *et al.* (1996), 引間(2012)]により行う。小断層サイズは経験的グリーン関数とする小地震の規模を考慮し1kmとした。解析にはKiK-netとK-NETの記録を用い、観測された加速度波形に0.03~1.5Hzのバンドパスフィルタを適用し積分した速度波形を使用した。なお、震源極近傍のTCGH07 栗山西の波形はインバージョンの際には使用せず、また、解析にはTransverse成分の波形を使用することを基本とした。

経験的グリーン関数としては、本震と同様の横ずれのメカニズムを有する2月25日15:26のM_w4.0の小地震を使用した。要素とする小地震のS波初動走時を読み取り、断層面を分割した各小断層から観測点に対して計算される走時に合わせて時間シフトした波形をインバージョン解析の際のグリーン関数とした。

◆解析結果

以上の条件で解析を行ったところ、モーメント解放が大きな領域は震源付近の4km×3km程度の狭い範囲に集中しており、主には北側にすべりが拮がるような結果が得られた。この特徴は、引間(2013a)の理論グリーン関数による解析結果と同様の傾向であるが、大きなすべり域がより狭い範囲に集中する結果である。余震の広がり比べると、地震時すべり域は狭い範囲にとどまっており、これらの対応関係を含めて解析結果に関する考察はさらに検討を継続したい。なお、観測波形の再現は比較的短周期の位相まで良好に行われている。

◆おわりに

本稿では一つの小地震を使った解析結果を示したが、栃木県北部の地震ではこの地震以外にも多くの余震が発生している。発表時には本稿とは別の余震を使用した結果なども示し、経験的グリーン関数を使った震源過程解析の信頼性等についても確認したい。

※ 既往研究に関する文献

引間, 2013年2月25日に栃木県北部で発生した地震(M_J 6.3)の震源過程, 日本地震学会 2013年秋季大会予稿集, P3?63, 2013a.

引間, スペクトルインバージョンを用いた2013年2月栃木県北部地震の震源域におけるサイト・伝播特性に関する検討, 日本地震工学会・大会-2013梗概集, 335-336, 2013b.

キーワード: 震源過程, 内陸地殻内地震, 震源近傍, 強震動, 2013 栃木県北部地震

Keywords: Source process, Crustal earthquake, Near source, Strong motion, 2013 Tochigi Hokubu earthquake

強震観測記録に基づく 2011 年長野県北部の地震 (Mj 6.7) の震源過程の解明 Source rupture process of the 2011 Northern Nagano earthquake (Mj 6.7) based on strong-motion records

芝 良昭^{1*}
SHIBA, Yoshiaki^{1*}

¹ 電力中央研究所
¹ CRIEPI

2011 年 3 月 12 日 3 時 59 分に発生した長野県北部地震 (M6.7) では、震源近傍の長野県栄村で震度 6 強が観測された。震源は、新潟—神戸ひずみ集中帯 (Sagiya et al., 2000) に位置し、2004 年新潟県中越地震 (M6.8) と 1847 年善光寺地震の中間の、いわゆる地震空白域に位置する。東北地方太平洋沖地震 (M9.0) の翌日に発生した地震でもあり、同地震の発生後に各地で頻発した誘発地震の一つと考えられる。また震源域付近には十日町断層帯の南端部が位置しているが、特定の既存活断層との関係は明らかでない。震源近傍の K-NET 津南 (NIG023) では、EW 成分で最大加速度 704 gal を記録しており、震源のアスペリティ、あるいは強震動生成域 (SMGA) との幾何学的な位置関係を明らかにすることは、強震動評価のために重要である。

F-net のメカニズム解によると、この地震は北西—南東圧縮の逆断層の発震機構を持つと考えられる。一方で、この地震では気象庁の一元化震源カタログに基づく余震分布と、防災科学技術研究所の稠密地震観測記録による余震分布が空間的に大きく異なっており、震源域周辺の地盤における著しい不整形性の影響によるものと考えられる。干渉合成開口レーダー (InSAR) の解析結果によれば (例えば中埜・他, 2013)、地震時の地殻変動域は防災科技研の余震分布と調和的であり、さらに走向が異なる 2 枚の断層面が想定され、鉛直変位の不連続性から北部の主断層は南東傾斜、南部の副断層は北西傾斜と示唆される。このため、ここでは InSAR の地殻変動分布と防災科技研の余震分布に整合的な、傾斜方向の異なる 2 枚断層面モデルを設定し、震源インバージョン解析を実施した。

解析の結果得られた断層面上のすべり分布モデルからは、モーメント解放量の大きいアスペリティが破壊開始点から約 7 km 離れた領域に推定され、その大きさは 5km × 10km 程度である。また破壊開始点周辺にも二次的なアスペリティが認められる。地震モーメントの約 85% は主断層から放出されており、副断層からの寄与は小さいことから、InSAR にみられた副断層の変位は、本震の直後に発生した M5.9 の余震によるものである可能性がある。本検討で推定された主アスペリティの直上には背斜構造が存在しており、今回の震源運動は背斜構造を成長させる方向となる。

キーワード: 2011 年長野県北部地震, 震源過程, 強震動, インバージョン解析, 干渉合成開口レーダー, 背斜構造

Keywords: 2011 Northern Nagano earthquake, Source process, Strong ground motion, Inversion analysis, InSAR, Anticlinal structure