

## アスペリティの動的応力降下量の不均質性を考慮した長大横ずれ断層の断層モデルに関する検討 Study on long strike-slip fault model with heterogeneous dynamic stress drops on asperities

小穴 温子<sup>1\*</sup>; 石井 透<sup>1</sup>; 壇 一男<sup>1</sup>; 藤原 広行<sup>2</sup>; 森川 信之<sup>2</sup>  
OANA, Atsuko<sup>1\*</sup>; ISHII, Toru<sup>1</sup>; DAN, Kazuo<sup>1</sup>; FUJIWARA, Hiroyuki<sup>2</sup>; MORIKAWA, Nobuyuki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 清水建設技術研究所, <sup>2</sup> 防災科学技術研究所

<sup>1</sup>Institute of Technology, Shimizu Corporation, <sup>2</sup>National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

小穴・他(2013)では、壇・他(2011)の長大横ずれ断層の断層パラメータ設定手法を用い、中央構造線断層帯沿いに発生する地震を想定して断層モデルを設定し、強震動の試算を行った。そこでは、アスペリティによらず、動的応力降下量を均質としており、断層破壊の不均質性については考慮していなかった。しかしながら、実現象では、すべてのアスペリティの応力降下量が均質であるとは考えにくい。特に長大な断層ほど、そのような不均質性が地震動の空間分布に与える影響は極めて大きいと推察されるため、不均質性をどのように取り入れるかは強震動予測において重要な課題である。また、破壊開始点などの断層パラメータの不確かさも地震動に大きく影響すると考えられるため、これも断層パラメータの設定の過程で考慮していく必要がある。

そこで、本研究では、壇・他(2011)の手法を発展させた強震動予測のためのアスペリティの動的応力降下量の不均質性を考慮した断層モデル設定方法を提案することを目的として、その断層パラメータ設定方法について検討し、強震動の試算を行った。さらに、断層パラメータの不確かさが地震動に与える影響について確認するために、破壊開始点・アスペリティの配置・アスペリティの面積と動的応力降下量の関係を変化させたケースについても検討した。

はじめに、複数のアスペリティを有する断層をモデル化する場合に、それぞれのアスペリティに不均質な動的応力降下量を与えるための断層パラメータ設定方法を検討した。具体的には、既往研究による過去の地震の強震動生成域における応力降下量のデータに基づき、それらの確率密度分布を求め、アスペリティの個数でそれを等分したときのそれぞれの中心の頻度に対応する動的応力降下量を与える方法を示した。ここで、複数のアスペリティに不均質な動的応力降下量を与える場合、アスペリティモデルのすべてのパラメータ関係式を満たすことは不可能であったため、地震モーメントの関係式を優先して満足させるようにし、短周期レベルの関係式との間に生じる誤差は許容することにした。ただし、その誤差は、アスペリティ10個の場合でも、均質な動的応力降下量を与えた断層モデルの短周期レベルの6%程度に収まった。なお、アスペリティの面積と動的応力降下量の関係は分析・整理されていないため、ここでは一つの考え方として、各アスペリティの面積の比とアスペリティの動的応力降下量の比の関係をランダムと仮定した。

次に、上記の不均質性を考慮した断層パラメータ設定方法に基づく断層モデルによる地震動を確認するために、中央構造線断層帯沿いの地震を対象に、断層モデルを設定し、統計的グリーン関数法により強震動を試算した。断層モデルのアスペリティの配置は、動的応力降下量が大いものと小さいものが交互になるような1ケースを設定した。結果として、司・翠川(1999)の距離減衰式の平均値に対するばらつきは、小穴・他(2013)の各アスペリティの動的応力降下量が均質なモデルでは対数標準偏差が最大加速度で0.19、最大速度で0.13であったのに対して、本検討の各アスペリティの動的応力降下量が不均質なモデルでは最大加速度で0.20、最大速度で0.16となり、やや大きくなった。特に震源近傍の地点に着目すると、本検討の不均質なモデルではその偏差が標準偏差を上回る地点も見られるようになった。司・翠川(1999)の距離減衰式の対数標準偏差である0.25、0.23に比べるとばらつきが小さいが、この距離減衰式は、多くの地震と観測点のデータに基づき震源特性・伝播特性・サイト特性のすべてのばらつきを含むのに対し、本検討は特定の地震・特定の伝播経路・特定のサイト(全計算点で工学的基盤相当とし、一律のサイト特性を与えている)を対象としているため、この結果は妥当と考えられる。

最後に、震源に関わるパラメータの不確かさが地震動に与える影響について検討した。不確かさを考慮したパラメータは、破壊開始点・アスペリティの配置・アスペリティの面積と動的応力降下量の関係の3つである。それぞれの検討ケース数は限られるものの、司・翠川(1999)の距離減衰式に対する平均的なばらつきは、破壊開始点の違いを含む場合は対数標準偏差が最大加速度で0.23、最大速度で0.21、アスペリティの配置の違いを含む場合は最大加速度で0.22、最大速度で0.17、アスペリティの面積と動的応力降下量の関係の違いを含む場合は最大加速度で0.20、最大速度で0.17となった。したがって、破壊開始点の違いが地震動に与える影響が相対的に大きいことがわかった。

今後は、不均質性を考慮した断層モデル設定方法を長大逆断層にも拡張する予定である。

キーワード: 長大断層, 不均質, 強震動予測

Keywords: Very long fault, Heterogeneity, Strong motion prediction

## M8クラスのスラブ内地震に適用可能な断層パラメータ設定方法の構築に向けた検討

### Establishing procedure of evaluating fault parameters for predicting strong motions from intra-slab earthquakes with M8

新井 健介<sup>1\*</sup>; 壇 一男<sup>1</sup>; 石井 透<sup>1</sup>; 花村 正樹<sup>1</sup>; 藤原 広行<sup>2</sup>; 森川 信之<sup>2</sup>

ARAI, Kensuke<sup>1\*</sup>; DAN, Kazuo<sup>1</sup>; ISHII, Toru<sup>1</sup>; HANAMURA, Masaki<sup>1</sup>; FUJIWARA, Hiroyuki<sup>2</sup>; MORIKAWA, Nobuyuki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 清水建設, <sup>2</sup> 防災科学技術研究所

<sup>1</sup>Shimizu Corporation, <sup>2</sup>National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

スラブ内地震の強震動を高い精度で予測するためには、スラブ内地震の震源特性に基づく断層パラメータ設定方法の構築が必要である。これまで、そのような研究が笹谷・他(2006)や壇・他(2006)により行われているが、提案されている断層パラメータ設定方法が実際の地震記録の再現によって十分検証されているとは言い難い。そこで、新井・他(2013)では、2011年4月7日に宮城県沖で発生したスラブ内地震を対象とした検討を行い、既存の断層パラメータ設定方法の適用可能性と問題点を指摘し、併せて問題点の克服に向けた工夫の提案を行った。2011年4月7日のスラブ内地震は短周期レベルが笹谷・他(2006)の式あるいは壇・他(2006)の式より得られる平均的な値よりも大きいため、笹谷・他(2006)や壇・他(2006)の方法をそのまま適用すると、地震動評価結果が過小となる可能性があった。しかしながら、短周期レベルを大きくすると、背景領域のすべり量(地震モーメント)が負になって断層パラメータを設定出来なくなることがわかった。そこで、短周期レベルを変更しても断層パラメータの設定が可能となるように、断層面積を平均的な値に保つ条件のままアスペリティ面積を小さくする断層パラメータ設定方法を提案した。

本稿では、新井・他(2013)で提案した断層パラメータ設定方法を用いて、M8クラスのスラブ内地震である1993年釧路沖地震および1994年北海道東方沖地震の断層モデルを設定し、新井・他(2013)で提案した断層パラメータ設定方法のM8クラスのスラブ内地震への適用性および問題点を確認した。そして、その問題点を克服するための新たな断層パラメータ設定方法の構築を試みた。

1993年釧路沖地震および1994年北海道東方沖地震の短周期レベルはMorikawa and Sasatani(2004)で求められているが、その値は2011年4月7日のスラブ内地震と同様に、笹谷・他(2006)の式あるいは壇・他(2006)の式によって得られる平均的な値よりも大きいため、笹谷・他(2006)や壇・他(2006)の方法をそのまま適用すると、地震動評価結果が過小となる可能性があった。そこで、新井・他(2013)で提案した方法の適用を試みたが、1994年北海道東方沖地震では短周期レベルが経験式によって得られる平均的な値よりもかなり大きく、それによってアスペリティの面積が極端に小さくなり、不自然な断層モデルとなった。この問題への対処方法として、短周期レベルを大きくしつつ、アスペリティの面積比を笹谷・他(2006)および壇・他(2006)による地震モーメントと短周期レベルの関係式、地震モーメントとアスペリティの面積の関係式を連立して求められる平均的な値とする方法を示した。この方法では、地震モーメント、短周期レベル、平均的なアスペリティの面積比が与条件となり、結果的に断層面積が笹谷・他(2006)や壇・他(2006)の方法によって設定した平均的な断層モデルよりも小さくなる。また、別の方法として、クラックモデルとする方法も検討した。

そして、笹谷・他(2006)、壇・他(2006)および新井・他(2013)の方法、本稿で提案する方法とクラックモデルとする方法のそれぞれで設定した複数の断層モデルで、1993年釧路沖地震および1994年北海道東方沖地震の地震動評価を経験的グリーン関数法により行い、観測記録との対応を確認した。その結果、1993年釧路沖地震に関しては、笹谷・他(2006)、壇・他(2006)の方法で過小評価となったが、新井・他(2013)の方法、本稿で提案する方法、クラックモデルとする方法では観測記録の説明性が向上した。一方、1994年北海道東方沖地震では、笹谷・他(2006)、壇・他(2006)の方法で過小評価となり、新井・他(2013)の方法、本稿で提案する方法、クラックモデルとする方法では、特に周期0.5秒以下といった短周期で過大評価となった。この原因としては、本検討で用いた、Morikawa and Sasatani(2004)で観測記録より震源スペクトルを推定して求められた短周期レベルは周期0.5秒以下の周期帯を説明するには適切でない可能性が考えられる。実際、Morikawa and Sasatani(2004)の断層モデルより算出される短周期レベルは、観測記録より震源スペクトルを推定して求めた短周期レベルよりも小さい。よって、今後は1994年北海道東方沖地震について、与条件とする短周期レベルを再検討したうえで設定した断層モデルで検討を行う予定である。また、本検討での対象は、太平洋プレートのスラブ内地震に限定しており、フィリピン海プレートについては、今後の課題とする。

キーワード: スラブ内地震, 強震動予測, 断層モデル

Keywords: Intra-slab earthquakes, Strong motion prediction, Fault model

## スペクトルインバージョンに基づく宮城県沖のスラブ内地震とプレート境界地震の震源特性

### Source effects of the intraslab and interplate earthquakes in Miyagi-ken-oki region based on spectral inversion

笠谷 直矢<sup>1</sup>; 筧 楽磨<sup>1\*</sup>

KASATANI, Naoya<sup>1</sup>; KAKEHI, Yasumaro<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 神戸大・理

<sup>1</sup> Faculty of Science, Kobe University

既往の研究より、スラブ内地震は、プレート境界地震に比べ、高周波成分を強く励起する特徴があるとされている。例えば、佐藤 (2004) では、宮城県沖の7つのスラブ内地震と4つのプレート境界地震の加速度震源スペクトルの高周波レベル（以下、単に「高周波レベル」という）を推定している。それによれば、平均的には宮城県沖のスラブ内地震の高周波レベルはプレート境界地震の高周波レベルの約3~4倍であるとしている。他方、加藤・他 (1999) は、やや深発地震の高周波地震波の励起強さを最大加速度値に基づいて検討し、その結果加速度振幅が強くなる条件として、スラブ内地震とプレート境界地震の区分よりも、むしろ震源深さによる影響が顕著に現れることを指摘している。以上のように、スラブ内地震の高周波成分の励起強さの要因をテクトニック環境によるものとするか、震源深さによるものとするかは、研究ごとに様々であり、再考の余地があると考えられる。

本研究では、宮城県沖のスラブ内地震とプレート境界地震の震源特性を評価するため、防災科学技術研究所 K-NET の強震記録に基づき、スペクトルインバージョン解析を行った。また抽出された震源特性からコーナー周波数と地震モーメントを推定し、加速度震源スペクトルの高周波レベルを求めた。

高周波レベルをスラブ内地震とプレート境界地震のテクトニック環境にのみ着目して、比較するに、スラブ内地震の高周波レベルは、プレート境界地震に比べ、約2~3倍程度大きい事が確認された。一方、震源深さに着目して比較するに、大局的に震源の深い地震の高周波レベルが大きく、震源の浅い地震の高周波レベルが小さいという高周波レベルの震源深さ依存性がある事が分かった。ここで注意すべきことは、スラブ内地震の震源深さはプレート境界地震に比べて系統的に深いという点である。さらに、震源深さが同程度のプレート境界地震とスラブ内地震を比較すると、両者の間に高周波レベルの有意な差は見られなかった。これは、同程度の深さを持つ上面と下面のスラブ内地震の間においても同様であった。

以上の事から、本研究では、プレート境界地震に比べ、スラブ内地震の高周波レベルが高いという傾向は、前者に比べ後者の震源が系統的に深いことによる見かけ上のものであり、高周波レベルの大きさはスラブ内地震とプレート境界地震といったテクトニック環境ではなく、震源深さの違いが効いており、深い地震ほど高周波レベルが高いと結論付けた。高周波レベルの差は、約50kmという深さの違いに対し、約4倍であった。

さらに本研究では、高周波レベルの評価に影響を与え得る、震源起因以外の因子として、震源深さによる波形の違いの影響、深さに依存するQ値構造という因子を考え、それらによる影響を定量的に評価した。その結果、それらの因子は結果を揺るがす程の大きなバイアスをもたらし得るとは考えられず、震源が深い地震ほど高周波レベルが高いという解釈が、極めて信頼性の高いものであることを示した。

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いただきました。記して感謝致します。

キーワード: スペクトルインバージョン, 高周波レベル, スラブ内地震, プレート境界地震, 震源深さ

Keywords: spectral inversion, high-frequency level, intraslab earthquake, interplate earthquake, focal depth

## 構造物の耐震検討の立場から見た2011年東北地方太平洋沖地震の複数の震源モデルのパフォーマンスの比較 Comparative study of the performance of source models for the 2011 Tohoku earthquake

野津 厚<sup>1\*</sup>

NOZU, Atsushi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 港湾空港技術研究所

<sup>1</sup> Port and Airport Research Institute

2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)は、今日のような密な強震観測網(e.g., Kinoshita, 1998)が構築されて以来、初めて発生したM9クラスの巨大地震である。この地震の発生により我々はM9クラスの巨大地震による強震動の実態を初めて知ることになったと言える。今後、他の地域を対象として、同程度の規模の地震を想定した強震動評価を行う機会が増えるものと考えられるが、その際の震源のモデル化においては、東北地方太平洋沖地震の強震記録から得られる知見を反映させることが極めて重要と考えられる。その際、強震動予測の目的が構造物の耐震検討である場合には、対象とする構造物に影響を及ぼしやすい周波数帯域の地震動を正確に計算できる震源モデルが求められる。本研究では、今後の強震動予測に用いる震源モデルの選択に資することを目的とし、各々の震源モデルから計算される地震動と、実際に観測された地震動との誤差を、構造物への影響が大きい帯域を中心に定量的に評価し、震源モデルのパフォーマンスに関する定量的な比較を行った。

本研究で対象とした震源モデルは、SPGAモデル(=スーパーアスペリティモデル)(野津他, 2012)、疑似点震源モデル(野津, 2012)、およびSMGAモデル(佐藤, 2012; Asano and Iwata, 2012; 川辺・釜江, 2013)である。SPGAモデルとは、東北地方太平洋沖地震をはじめとする海溝型巨大地震において特徴的な強震動パルスのパルス幅と調和的なサイズのサブイベント(SPGA)から構成される震源モデルであり、サブイベントのサイズは対象地震の場合一辺が数km程度である。一方、SMGAモデルは、より広い領域(対象地震の場合、一辺が数十km程度)からまんべんなく強震動が生成されるとする震源モデルである。これらはいずれも特性化震源モデルの範疇に属するもので、グリーン関数の重ね合わせにより地震動が計算される。それに対して、疑似点震源モデルは、特性化震源モデルよりもさらに単純化された震源モデルであり、各サブイベントに起因する地震動のフーリエ振幅だけが規定される。なお、本地震に対して提案されているSMGAモデルのうちKurahashi and Irikura(2013)のものについては本研究では対象としなかった。その理由は、Kurahashi and Irikuraの震源モデルにおいては、2005/8/16宮城県沖の地震(Mw7.2)の記録の後半部分がグリーン関数として用いられているが、一部の観測点では、記録を前半部分と後半部分に分けることが、著者にとっては困難であったためである。地震動の計算には、基本的に、各々の震源モデルの構築に用いられたのと同様の計算手法を用いた。すなわち、佐藤(2012)のSMGAモデルについては壇・佐藤(1998)の経験的グリーン関数法を用い、Asano and Iwata(2012)、川辺・釜江(2013)によるSMGAモデルについては入倉他(1998)の経験的グリーン関数法を用いた。グリーン関数イベントとして用いた中小地震も、個々の文献に示されたものと同様である。SPGAモデルと疑似点震源モデルについてはそれぞれの文献に示された方法で地震動を計算した。対象地点については、①サブイベントが存在する宮城県から茨城県までの範囲をカバーすること、②地盤の非線形挙動の影響が大きいサイトを避けること、③各々の文献で用いられた中小地震記録が漏れなく観測されていることを念頭に置き10地点を選定した。代表的な地点として、MYGH12における地表NS成分(0.2-1Hz)の比較を図に示す。観測波形には強震動パルスが明瞭に表れており、SPGAモデルではこれを再現できるが、SMGAモデルではこれを再現することができない。野津(2012)と同様の評価式を用い、速度波形(0.2-1Hz)、速度envelope(0.2-10Hz)およびフーリエスペクトル(0.2-10Hz)に関する誤差評価を行ったところ、港湾構造物に対して影響の大きい0.2-1Hzの帯域だけでなく、より高周波成分まで含めても、SPGAモデルおよび疑似点震源モデルの誤差がSMGAモデルより小さいという結果であった。次に、建物被害と対応の良い指標として境・他(2002)により提案されている「1-2秒震度」の計算を行った結果、SPGAモデルは観測波の「1-2秒震度」を概ね再現できているのに対し、SMGAモデルではSPGAモデルに対して2.2倍~3.8倍程度の誤差が生じることがわかった。

以上のように、構造物の地震時挙動に大きく影響すると考えられる強震動パルスを再現できること、建物被害と対応の良い指標である「1-2秒震度」の再現性が良いことなどから、一般的な構造物の耐震検討に用いる地震動を評価するための震源モデルとしてはSPGAモデル(または疑似点震源モデル)が適していると考えられる。謝辞: 防災科学技術研究所の強震記録を使用しました。

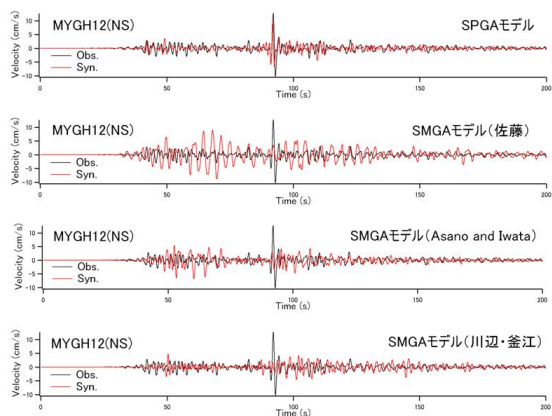
キーワード: 巨大地震, 東北地方太平洋沖地震, 震源モデル, 強震動, SPGAモデル, SMGAモデル

Keywords: mega earthquake, the Tohoku earthquake, source model, strong ground motion, SPGA model, SMGA model

SSS23-04

会場:211

時間:5月1日 09:45-10:00



速度波形の計算結果の例 (MYGH12の地表NS成分) (バンドパスフィルタ0.2-1Hz)

SSS23-05

会場:211

時間:5月1日 10:00-10:15

## 疑似点震源モデルによる 2003 年 5 月 26 日宮城県沖スラブ内地震の強震動シミュレーション

### A pseudo point-source model for off Miyagi intraslab earthquake on May 26, 2003

若井 淳<sup>1\*</sup>; 長坂 陽介<sup>1</sup>; 野津 厚<sup>1</sup>

WAKAI, Atsushi<sup>1\*</sup>; NAGASAKA, Yosuke<sup>1</sup>; NOZU, Atsushi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 港湾空港技術研究所

<sup>1</sup> Port and Airport Research Institute

最近の研究で、既往の特性化震源モデルをさらに単純化した疑似点震源モデルが提案され、2011 年東北地方太平洋沖地震への適用性が確認されている。単純化の要点は、強震動の生成に関わる各々のサブイベントに対し、その内部におけるすべりの時空間分布を詳細にはモデル化せず、各々のサブイベントが生成する震源スペクトルのみをモデル化するという点である。今後、疑似点震源モデルの活用を目指す場合、他の代表的な地震への適用性を検証することは重要である。本検討では、2003 年 5 月 26 日に発生した宮城県沖のスラブ内地震を例に、疑似点震源モデルの適用性を検討した。その結果、波形およびフーリエスペクトルともに特性化震源モデルと同等の再現性を有することを確認した。

キーワード: 疑似点震源モデル, スラブ内地震, 強震動, 2003 年宮城県沖地震

Keywords: pseudo point-source model, intraslab earthquake, strong ground motion, the 2003 off Miyagi earthquake

## 疑似点震源モデルによる2005年7月23日千葉県北西部地震の強震動シミュレーション

### Strong ground motion simulation for the July 23, 2005 northwestern Chiba earthquake by pseudo point-source model

長坂 陽介<sup>1\*</sup>; 野津 厚<sup>1</sup>; 若井 淳<sup>1</sup>  
NAGASAKA, Yosuke<sup>1\*</sup>; NOZU, Atsushi<sup>1</sup>; WAKAI, Atsushi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 港湾空港技術研究所

<sup>1</sup>Port and Airport Research Institute

#### 1. はじめに

各研究者によって提案されている地震動予測手法を比較するためのベンチマークテストが行われている(久田他, 2013). 2013年度は首都直下地震として2005年7月23日の千葉県北西部地震(Mj6.0)が対象となった. ベンチマークテストは大きく分けて理論的手法、統計的手法によるものに分かれるが、既定の手法の他に、参加者独自の手法による参加も可能である. 本検討では疑似点震源モデル(野津, 2012)による震源モデルを作成し、強震動シミュレーションを行った.

#### 2. 疑似点震源モデル

疑似点震源モデルは、震源において強震動を発生させる各サブイベントでのすべりの時空間分布を詳細にはモデル化せず、サブイベント全体としての震源スペクトルをオメガスクエアモデルに従う形で与えることが特徴である. この単純化には大きく2つの理由がある. 1: 観測地震動のフーリエ位相は伝播経路特性とサイト増幅特性により決まっていることが多いこと. 2: サブイベントを分割し、重ね合わせる手法では合成波形のフーリエ振幅に人為的な山谷が生じることが多いが、海溝型巨大地震の際の岩盤サイトでの観測フーリエ振幅は山谷が少ない. つまり、サブイベント全体としての地震動がオメガスクエアモデルに従うとした方が観測をうまく説明できる可能性があること. 疑似点震源モデルは海溝型地震だけでなくいくつかの内陸地殻内地震などにも適用されており、良好な結果を得ている.

既往の研究(野津, 2012)では、各サブイベントに与えるパラメータを緯度、経度、深さ、地震モーメント、コーナー周波数、破壊時刻の6つとし、平均的なラディエーションパターン係数を用いていたが、本検討では、ラディエーションパターンの影響についても検討するため、走向、傾斜、すべり角を震源パラメータに加えた. そして、ラディエーションパターンは、震源距離と波長に依存するものとし、遠距離の場合または短波長の場合に平均値に近づくものとした. そして、理論的なラディエーションパターンが距離と共に失われていく遅さを規定するパラメータとして新たに $Q_R$ を設定している.

#### 3. 得られたモデル

震源位置とメカニズムは瀧本・三宅(2005)を用いた. 地震モーメント、震源付近の地盤密度、S波速度はF-netよりそれぞれ $9.11 \times 10^{17}$  Nm,  $3.2 \text{ g/cm}^3$ ,  $4.46 \text{ km/s}$ とした. 伝播経路のQ値は $100^{0.7}$ (中央防災会議・東海地震に関する専門調査会, 2001), コーナー周波数と $Q_R$ は時刻歴速度波形とフーリエスペクトルが合うように試行錯誤的に決定し、それぞれ $0.75 \text{ Hz}$ ,  $10\pi$ とした.  $Q_R=10\pi$ で震源距離80kmのとき、ラディエーション係数は2Hz以上ではほぼ平均値となり、 $0.4 \text{ Hz}$ で理論値と平均値の間となる.

サイト増幅特性は野津・長尾(2005)によるものを用いたが、K-NET, KiK-net以外の観測点は設定されていないため、いくつかの地点では今回新たに評価を行った. まず観測記録が利用可能な観測点(建築研究所の観測点)では、近隣K-NET, KiK-net観測点の記録との加速度フーリエスペクトル比をとり、それを近隣K-NET, KiK-net観測点のサイト増幅特性に乗じることで設定した. UR観測点など観測記録が利用できない場合は、まずSK-netなど近隣の記録が利用可能な観測点に対して上記の方法でサイト増幅特性を設定した. 次に両地点で微動観測を実施し、H/Vスペクトルの比較を行い、ピーク周波数がずれていればサイト増幅特性を対数軸上で周波数方向にシフトするなどの補正を行い設定した.

フーリエ位相は地点により以下の3つのうちいずれかを用いている. いずれも本震以前の地震となる. 1: 1997年7月9日 18:36, 2: 2002年5月19日 05:00, 3: 2004年8月8日 03:23.

以上により得られた再現結果の加速度フーリエスペクトルの例を図に示す.

謝辞: 防災科学技術研究所, 建築研究所, SK-netの強震記録を利用しました.

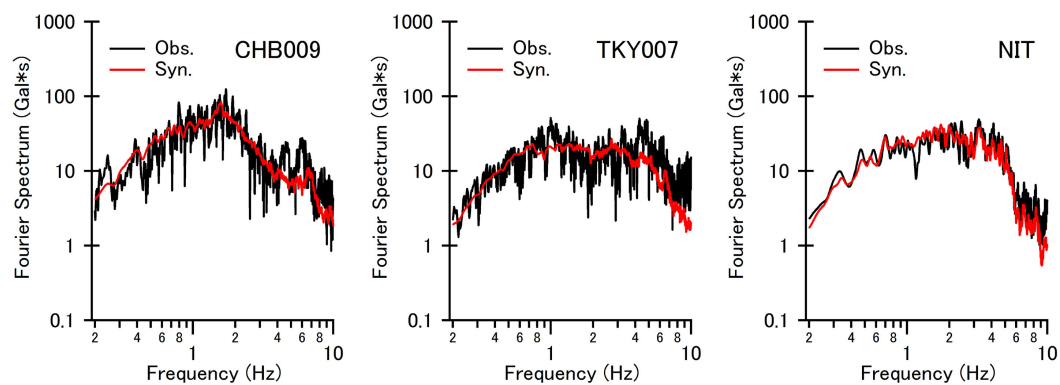
キーワード: 疑似点震源モデル, ベンチマークテスト, 2005年千葉県北西部地震, 放射特性, サイト増幅特性

Keywords: pseudo point-source model, benchmark test, the 2005 northwestern Chiba earthquake, radiation pattern, site amplification factor

SSS23-06

会場:211

時間:5月1日 10:15-10:30



Comparison of acceleration fourier spectrum  
 (CHB009 and TKY007: K-NET station, NIT: BRI station)

## ボーリングデータ解析による浅部地下地質構造の統合型三次元グリッドモデリング: 東京低地北部から中川低地南部の例 Three-dimensional grid modeling based on analysis of borehole data

木村 克己<sup>1\*</sup>; 花島 裕樹<sup>2</sup>; 西山 昭一<sup>3</sup>; 石原 与四郎<sup>4</sup>; 関口 春子<sup>5</sup>

KIMURA, Katsumi<sup>1\*</sup>; HANASHIMA, Yuki<sup>2</sup>; NISHIYAMA, Shoichi<sup>3</sup>; ISHIHARA, Yoshiro<sup>4</sup>; SEKIGUCHI, Haruko<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所, <sup>2</sup> スマートソリューション株式会社, <sup>3</sup> 応用地質株式会社, <sup>4</sup> 福岡大学, <sup>5</sup> 京都大学防災研究所

<sup>1</sup> AIST, Geological Survey of Japan, <sup>2</sup> Smart Solution Corporation, <sup>3</sup> OYO Corporation, <sup>4</sup> Fukuoka University, <sup>5</sup> Kyoto University

地盤調査のボーリングデータに基づいて、地震応答特性評価の基礎となる浅部の地下地質構造モデルの高精度化を目的に、統合型三次元グリッドモデル構築手法を整理し、実際に東京低地北部から中川低地南部域をモデル地域として適用を行った。本研究の三次元モデリング手法の特徴は、①木村ほか (2013) に基づいて、ボーリングデータ解析で得た沖積層基底層準のポイントデータに加えて、埋没地形平坦面の成り立ちを考慮した制約条件を用いてデータの空白域を補填することで、沖積層基底面モデルを構築すること、②ボーリングデータから岩相とN値の三次元グリッドモデルを求める江藤ほか (2008) の手法を基礎にし、①で求めた沖積層基底面モデルの上位と下位にモデル領域を分割して計算し、その後両者を統合することで、岩相とN値の三次元グリッドモデルを構築する手法を開発したこと、である。グリッドのサイズは水平 125m 四方、垂直 1m である。

この岩相とN値の統合型グリッドモデリング手法は、堆積平野域の浅部地盤で最大の物性境界である沖積層基底面の構造をモデルに反映することができる。その結果、本モデルでは、埋没谷の壁を境に軟弱な沖積層の泥層と堅い更新統の砂層とが隣接する岩相・物性の急激な側方変化が表現されている。そして、沖積層とその基盤となる更新統の区分、岩相・N値・深度を変数として、太田・後藤 (1978) などの経験式を用いて、S波速度と密度の物性地盤モデルに変換できることから、地質学的な表現に加えて、地震応答特性評価に用いる地盤モデルとして有用である。

### 文献

江藤稚佳子ほか (2008) 地質学雑誌, 114, 187-199; 木村克己ほか (2013) 地質学雑誌, 119, 537-553; 太田 裕・後藤典俊 (1978) 物理探鉱, 31, 8-17.

キーワード: 三次元モデル, 浅部地盤, グリッドモデル, 沖積層基底面, 東京低地, ボーリングデータ

Keywords: 3D model, ground, grid model, basal surface of the Chuseki-so, Tokyo lowland, borehole data

## 南西諸島における強震動シミュレーションのための3次元地下構造モデル Three-dimensional structure model for modeling strong motion around the Ryukyu arc

藤岡 慧<sup>1</sup>; 竹中 博士<sup>2\*</sup>; 山田 伸之<sup>3</sup>; 中村 武史<sup>4</sup>; 岡元 太郎<sup>5</sup>; 藤原 広行<sup>6</sup>

FUJIOKA, Akira<sup>1</sup>; TAKENAKA, Hiroshi<sup>2\*</sup>; YAMADA, Nobuyuki<sup>3</sup>; NAKAMURA, Takeshi<sup>4</sup>; OKAMOTO, Taro<sup>5</sup>; FUJIWARA, Hiroyuki<sup>6</sup>

<sup>1</sup>九州大学, <sup>2</sup>岡山大学, <sup>3</sup>福岡教育大学, <sup>4</sup>海洋研究開発機構, <sup>5</sup>東京工業大学, <sup>6</sup>防災科学技術研究所

<sup>1</sup>Kyushu Univ., <sup>2</sup>Okayama Univ., <sup>3</sup>Kyushu Univ. of Education, <sup>4</sup>JAMSTEC, <sup>5</sup>Tokyo Institute of Technology, <sup>6</sup>NIED

The Ryukyu Islands have frequently been damaged by large earthquakes and tsunamis since ancient times. For instance, in 1771, gigantic tsunamis are occurred from an earthquake and more than 12000 people died in Yaeyama Islands. From the point of view of disaster prevention, it is also important to improve the precision of strong ground motion prediction. Here we build a 3D numerical structure model for modeling of strong ground motion, which includes land and ocean-bottom topographies and a seawater layer as well as subsurface structures of the arc side and the PHS slab, partially based on the J-SHIS model for near-surface structure (NIED) and a slab-top depth model of the PHS (Headquarters for Earthquake Research Promotion, Japan). We then try to improve the near-surface structure model in the islands using our original microtremor surveys. We also conduct numerical simulations of seismic motions for three sub-oceanic earthquakes occurring near the Amami Islands, Okinawa Island and Miyako Island to confirm the applicability of the constructed structure model and to check the improvement of the near-surface model.

キーワード: 南西諸島, 強震動, シミュレーション

Keywords: Ryukyu arc, strong motion, simulation

## 立川断層帯周辺の3次元深部地盤構造モデルの構築と地震動シミュレーション 3-D sedimentary layers model and simulation of seismic motions around the Tachikawa fault zone

佐口 浩一郎<sup>1\*</sup>; 地元 孝輔<sup>1</sup>; 山中 浩明<sup>1</sup>  
SAGUCHI, Koichiro<sup>1\*</sup>; CHIMOTO, Kosuke<sup>1</sup>; YAMANAKA, Hiroaki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京工業大学大学院総合理工学研究科

<sup>1</sup> Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology

### 1. はじめに

首都圏では立川断層等による活断層による被害地震の発生が危惧されるため、精度の高い強震動予測が必要とされる。高精度な強震動予測を実施する場合、3次元シミュレーションのための地下構造モデルが必要となる。すでに首都圏では地震調査研究推進本部の「長周期地震動予測地図」(以下、推本モデル)等により3次元地下構造モデルが構築されつつあるが、観測記録に基づくモデル精度の確認が必要とされている。

本研究では、立川断層帯周辺地域で微動アレイ観測および微動単点観測を実施し、立川断層帯周辺のK-NET, KiK-netおよびSK-netによる観測点におけるレシーバー関数とレイリー波位相速度との同時逆解析およびH/Vスペクトルを用いて深部地盤構造を推定することにより、基盤の段差構造を含めたより詳細な3次元深部地盤構造モデルの構築を行った。さらに構築した3次元深部地盤構造モデルと推本モデルを用いて3次元差分法解析により2012年1月28日に発生した山梨県東部の地震の地震動シミュレーションを行った。

### 2. 微動アレイおよび微動単点観測

微動アレイ観測は立川断層帯周辺における12地点により実施した。各観測点ではそれぞれ半径1.5~2km程度と0.4~0.5km程度の大アレイおよび小アレイでの観測を行い、観測時間は大アレイで60分間、小アレイで30分間である。微動単点観測は立川断層帯を横切る9測線において、各測線30~34地点、特に断層近傍の1km以内では100m程度の間隔による高密度な観測を行った。観測時間は断層近傍の1km以内の観測点では10分間、その他の観測点では5分間である。得られた微動アレイ記録によるF-K法解析から、周期0.5秒~5秒の間で概ね0.5~2.5km/sの分散性を有する位相速度が得られた。また、微動単点観測記録のノイズの少ない81.92秒間のデータによる10~15区間のデータから求めたH/Vスペクトルでは、立川断層の西側ではH/Vスペクトルの卓越周期は概ね2~3秒程度であるのに対し、断層の東側では卓越周期は7秒以上と長くなっていた。さらに立川断層のごく近傍1km以内では西から東に向かってH/Vスペクトルの卓越周期が3秒から10秒へと長周期側に急激に推移しており、断層のごく近傍の1kmの範囲内で急激に地下構造が変化していることが推測された。

### 3. 立川断層帯周辺における3次元深部地盤構造モデルの構築

微動アレイ観測点近傍1km以内にK-NET等による地震観測点がある場合にはレイリー波位相速度とレシーバー関数による同時逆解析を行った。同時逆解析には焼きなまし法を用い、探索パラメータを $V_p$ (P波速度)、 $V_s$ (S波速度)および $H$ (層厚)とし、探索範囲は $V_p$ と $V_s$ では推本モデルの $\pm 200\text{m/s}$ 、 $H$ では推本モデルの1~200%とした。その他の地震観測点では、同時逆解析結果による速度構造を用いてレシーバー関数による単独逆解析を行うことにより、また、立川断層帯のごく近傍の微動単点観測点では微動アレイ観測点の観測H/Vスペクトルの卓越周期に対する各観測点の卓越周期の比を、微動アレイ観測点において推定した深部地盤構造の層厚に乗じることにより深部地盤構造を推定した。推定した各観測地点の1次元深部地盤構造より、立川断層帯周辺においてS波速度0.5km/s、0.9km/s、1.5km/sおよび2.4km/sの堆積層と3.2km/sの地震基盤から構成される3次元深部地盤構造モデルを構築した。構築した3次元深部地盤構造モデルでは、立川断層の中央部から南部にかけた地域では、地震基盤は南西から北東に向かい急激に深くなっており、特に立川断層の中央部においては1.7kmの地震基盤の落差を有している。

### 4. 3次元差分法による地震動シミュレーション

2012年1月28日に発生した山梨県東部の地震( $M_j=5.4$ )では、立川断層中央部の北東に位置する観測点(TKY2200:SK-net)では最大加速度および最大速度は $46.8\text{cm/s}^2$ (3成分合成)および $1.4\text{cm/s}$ であり、立川断層の南西に位置する観測点に比べて6~7倍程度振幅が大きい地震動が観測されている。したがって、構築した3次元深部地盤構造モデルの妥当性を検証するために、3次元差分法による地震動シミュレーションを実施した。3次元シミュレーションでは、震源を含む南北70km×東西60km×深さ50km程度を対象として、100m格子によりモデル化した。なお、10km以深における地殻・マントルは推本モデルをそのまま使用している。また、3次元解析の対象範囲は周期1秒以上とした。解析の結果、各観測点における観測記録との整合性は概ね調和的であり、特に推本モデルでは再現できていない断層の北東側で急激に地震動が大きくなる現象を再現することができ、構築した3次元深部地盤構造モデルの妥当性を示すことが出来た。

### 謝辞

本研究は、文部科学省「立川断層帯における重点的調査観測」を受けて実施されました。また、本研究ではKiK-net, K-NETおよびSK-netの地震観測記録を使用させて頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

# Japan Geoscience Union Meeting 2014

(28 April - 02 May 2014 at Pacifico YOKOHAMA, Kanagawa, Japan)

©2014. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SSS23-09

会場:211

時間:5月1日 11:15-11:30

キーワード: 立川断層帯, 微動アレイ探査, レイリー波位相速度, 3次元深部地盤構造, 3次元差分法

Keywords: Tachikawa fault zone, array microtremor exploration, Rayleigh wave phase velocity, 3-D sedimentary layers model, 3-D finite difference method

## DETERMINATION OF S-WAVE VELOCITY STRUCTURE BY MICROTREMOR ARRAY OBSERVATION IN TEKIRDAG AND ZEYTINBURNU (TURKEY) DETERMINATION OF S-WAVE VELOCITY STRUCTURE BY MICROTREMOR ARRAY OBSERVATION IN TEKIRDAG AND ZEYTINBURNU (TURKEY)

KARAGOZ, Ozlem<sup>1\*</sup> ; CITAK, Seckin ozgur<sup>2</sup> ; CHIMOTO, Kosuke<sup>1</sup> ; YAMANAKA, Hiroaki<sup>1</sup> ; OZEL, Oguz<sup>3</sup> ; YALCINKAYA, Esref<sup>3</sup> ; ZANEIH, Hussam<sup>1</sup> ; ASKAN GUNDOGAN, Aysegul<sup>4</sup> ; KAOURU, Kojima<sup>1</sup> ; TOMOHIRO, Tsuchiya<sup>1</sup> ; AKSAHIN, Behiye<sup>3</sup> ; ILKAY, Sena<sup>3</sup> ; SISMAN DERAN, Fatma<sup>4</sup>  
KARAGOZ, Ozlem<sup>1\*</sup> ; CITAK, Seckin ozgur<sup>2</sup> ; CHIMOTO, Kosuke<sup>1</sup> ; YAMANAKA, Hiroaki<sup>1</sup> ; OZEL, Oguz<sup>3</sup> ; YALCINKAYA, Esref<sup>3</sup> ; ZANEIH, Hussam<sup>1</sup> ; ASKAN GUNDOGAN, Aysegul<sup>4</sup> ; KAOURU, Kojima<sup>1</sup> ; TOMOHIRO, Tsuchiya<sup>1</sup> ; AKSAHIN, Behiye<sup>3</sup> ; ILKAY, Sena<sup>3</sup> ; SISMAN DERAN, Fatma<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, <sup>2</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), <sup>3</sup>Istanbul University, Department of Geophysical Engineering, Turkey, <sup>4</sup>Middle East Technical Uni., Dept. of Civil Engineering and Dept. of Earthquake Studies, Turkey

<sup>1</sup>Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, <sup>2</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), <sup>3</sup>Istanbul University, Department of Geophysical Engineering, Turkey, <sup>4</sup>Middle East Technical Uni., Dept. of Civil Engineering and Dept. of Earthquake Studies, Turkey

The use of environmental vibration recordings (microtremors) is cost effective and easily collected data for site characterization that is a component of microzonation mapping and has become very popular around the world in the last years.

Local site conditions have a major effect on the level of ground shaking. For this reason we carried out microtremor measurements by using circular small array configuration at twenty one locations in Tekirdag, four locations in Zeytinburnu and one location in Yesilkoy. In addition to eight large array measurements for estimating S-wave velocity structures of shallow deeper soil formations for site effect analysis. These sites were selected by considering the different geological units (i.e. recent landfill, clay stone, silt stone, alluvium, lime stone, sand) in the cities. We also collected data on five buildings in Tekirdag in order to understand dynamics properties of buildings.

We estimated the phase velocities of Rayleigh waves at each site from the vertical components of recorded microtremor data by using Spatial Autocorrelation (SPAC) method. Obtained phase velocity dispersion curves are varied from area to area. The obtained phase velocities range from 100 m/s to 750 m/s along the coastline in Tekirdag while, they range from 200 m/s to 500 m/s for Zeytinburnu area.

Genetic Simulated Annealing Algorithm technique was applied for inversion of phase velocities to estimate 1-D S-wave velocity structures beneath the sites. The inverted Vs profiles are not uniformed. The preliminary results show that similar phase velocity changes have been seen at the low and the high periods on the different geological units along the parallel direction of the coastline. When we check the velocity changes from coastline toward the inland, we can see the different phase velocities on the different geological units.

キーワード: Microtremor, Spac, S-wave velocity, Tekirdag, Zeytinburnu, Turkey

Keywords: Microtremor, Spac, S-wave velocity, Tekirdag, Zeytinburnu, Turkey

## 東北地方太平洋沖地震時の京浜地域の長周期地震動特性 Characteristics of long-period strong ground motion in the Keihin-area during the 2011 Tohoku earthquake

植竹 富一<sup>1\*</sup>

UETAKE, Tomiichi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東京電力株式会社

<sup>1</sup>Tokyo Electric Power Company

東北地方太平洋沖地震により京浜地域で観測された地震動では、首都圏で卓越が指摘される周期7~8秒については顕著なピークは見られなかった。一方、周期2~3秒については顕著な卓越が見られ、特に海岸線に沿った観測点では、減衰5%の速度応答スペクトルで、100cm/sを越す応答が見られた [例えば、津野・他(2012)]。京浜地域で観測された加速度波形の振幅は、S波初動から徐々に大きくなり、最大値は約2分後に生じ、その後小さくなっていく。最大速度応答が発生する時間帯を調べると、周期2~3秒の最大速度応答値は、加速度包絡形が最大となる時間帯で生じており、波形前半の影響が大きいと考えられる。

入射地震波の伝播性状を調べるために、京浜地域で観測された記録を用いて位相速度の評価を試みた。選定した観測点は、植竹(2012)が、周期7~8秒の伝播性状の検討に用いた観測点6点に、K-NET、東大地震研の強震観測点、気象庁、東京都、横浜市の震度観測点を加え16点とした。長径約18km、短径9kmの長径が震央方向を向いた楕円形となる。また、アレイサイズの比較のため横浜市鶴見区周辺の観測点7点で構成したアレイでも解析を行った。こちらは直径約7kmの円に収まる範囲である。

解析は、観測点共通で記録が得られている時間帯とし、KNG001の記録を目安に記録開始から240秒間とした。波動伝播解析は、バンドパスフィルター波形にセンブランス解析 [Neidel&Taner(1971)] を適用し、スローネス平面の最大ピークから位相速度と到来方向を求めた。バンドパスフィルターは、中心周期を1, 2, 2.5, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 20秒とし、中心周期の逆数(中心周波数)に対して±20%の幅を持つフィルターとした。解析の時間長は20秒として、10秒ずつずらして解析を行い時間帯による変化を検討した。なお水平動波形は、平均的な震央方向に対してRadial-Transverse変換し、解析にはTransverse成分と上下動成分を用いた。

波形の相関性を示すセンブランス値は、短周期になるほど小さくなり、周期2秒、1秒の場合0.5以下の数値となった。また、全体アレイと鶴見区アレイを比較するとアレイが大きいほど小さい傾向がわかる。センブランス値の時間的な変化を見ると、加速度振幅が徐々に大きくなる波形前半部に比べ、加速度が小さくなる後半部に入ると急に小さくなる。センブランス値の時間的な変化と同時に、推定される位相速度や伝播方向にも変化が見られる。波形前半では、水平動・上下動とも震央方向から3km/sを越す速い速度での伝播を示すが、後半部では様々な方向からより遅い速度での伝播を示している。この傾向は短周期側で顕著である。なお、上下動の7~10秒では、震央方向から90度南側にずれた南東方向からの伝播が顕著となり盆地構造を反映している可能性がある。関東平野の地下構造モデルから推定される川崎付近の表面波の位相速度と比較すると、前半部の位相速度との対応は悪いが、後半部の遅い時間帯の解析結果に関しては、Transverse成分は基本モードのLove波、上下成分は基本モードのRayleigh波の位相速度と対応が見られた。なお、これらの傾向は、植竹(2013)が東京低地部のアレイ解析結果で確認した傾向と同様である。

以上、加速度波形の性状とセンブランス解析の結果から解釈すると、周期2~3秒の最大応答を生じさせた波動成分は、基本モードの表面波ではなく実体波である可能性が高いと考えられる。

解析には、東京電力、防災科研のK-NET、東京大学地震研究所、気象庁、東京都、横浜市の強震観測データを使用いたしました。記して感謝いたします。

キーワード: 長周期地震動, 2011年東北地方太平洋沖地震, センブランス解析, 位相速度, 京浜地域

Keywords: Long-period strong ground motion, the 2011 Tohoku earthquake, Semblance analysis, Phase velocity, Keihin area

## 2011年東北地方太平洋沖地震による大阪堆積盆地での長周期地震動の特徴 Characteristics of Long-period Ground Motion in the Osaka Sedimentary Basin due to the 2011 Great Tohoku Earthquake

佐藤 佳世子<sup>1\*</sup>; 岩田 知孝<sup>1</sup>; 浅野 公之<sup>1</sup>; 久保 久彦<sup>1</sup>; 青井 真<sup>2</sup>

SATO, Kayoko<sup>1\*</sup>; IWATA, Tomotaka<sup>1</sup>; ASANO, Kimiyuki<sup>1</sup>; KUBO, Hisahiko<sup>1</sup>; AOI, Shin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 京都大学 防災研究所, <sup>2</sup> 独立行政法人 防災科学技術研究所

<sup>1</sup> Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, <sup>2</sup> National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

2011年3月11日14時46分に2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)が、15時15分にその最大余震である2011年茨城県沖地震(Mw7.7)が発生した。これらの地震の震源から550~800km程離れた大阪堆積盆地内、特に大阪湾岸では大振幅の長周期地震動(2~10秒)が観測された。この地震動の特徴を調べるため、まず大阪盆地内外の地震動記録を可能な限り収集して解析を行った。これまでの研究から、大阪盆地内では厚く柔らかい堆積層の影響で長周期地震動の振幅が増幅し、継続時間が伸長する事が知られている。本研究対象の地震でも、盆地内の堆積層観測点での記録と盆地外の岩盤観測点での記録を比較する事で同様の特徴を確認できた。また、長周期地震動の振幅や卓越周期を地域毎に見ると、最大振幅が観測された大阪湾岸地域では周期7秒程度が卓越、次いで生駒山地と上町台地に挟まれた河内盆地では周期5~6秒の地震動が卓越した。一方、上町台地上での卓越周期は3秒程度で、振幅も湾岸地域に比べると小さかった。また、堆積層の影響がないと考えられる岩盤観測点においても2~10秒の周期帯では周期7秒程度の地震動がほかの周期に比べて大きくなっていった。

さらに、大阪盆地内で最大振幅の長周期地震動が観測された観測点の卓越周期である周期7秒の擬似速度応答スペクトルを大阪盆地外のそれと比較したところ、本震、最大余震ともに、大阪湾岸地域での応答値が関東平野での応答値に匹敵していた事がわかった。この周期7秒の距離減衰の特徴を調べたところ、関東平野、濃尾平野、大阪盆地の堆積層観測点で同程度の距離にも関わらず、観測点によって応答値が異なっており、特に大阪盆地内では最大30倍近い差が見られた。濃尾平野-大阪盆地間の岩盤観測点で、経験式(片岡ほか, 2008)から予測される応答値よりも大きな値が観測された。

以上から、観測された大阪盆地での大振幅の長周期地震動に対して、大阪盆地の堆積層特性だけでなく、震源から大阪盆地までの伝播経路特性も無視できないと考えられる。

観測された大振幅の長周期地震動の成因を調べる為に、差分法(Aoi and Fujiwara, 1999)を用いて震源から大阪盆地までの周期4~10秒の地震波動場の再現を試みた。計算領域は730km(東西)×330km(南北)×100km(深さ)で、堆積層を含む領域の格子間隔は水平200m、鉛直100mとした。地下構造モデルは全国一次地下構造モデル(Koketsu et al., 2008, 2012)を基に構築した。最小S波速度は350m/sで、それゆえ最小計算有効周期は3秒である。最大余震の震源モデルには震源近くのKiK-net CHBH14の地表観測点で波形が合うように推定したモーメント時間関数をもつ点震源を使用した。濃尾平野から大阪盆地に至る地域での地震動の特徴や、関東平野、濃尾平野、大阪盆地の堆積層での地震動の振幅の増幅と継続時間の伸長など観測記録の特徴が定性的に再現できた。ただし、周期別に見ると、大阪盆地内では周期7秒の地震動の振幅がやや過小評価となった。

この結果を踏まえて、本震時の長周期地震動シミュレーションを行った。計算領域は730km(東西)×400km(南北)×100km(深さ)で、格子間隔及び地下構造モデルは最大余震と同様である。震源モデルとしてはAsano and Iwata (2012)で推定された、周期0.1~10秒の地震動を説明する4つの強震動生成領域(SMGA)のうち福島県沖~茨城県沖に位置する2つのSMGAの重心位置と破壊開始時刻に点震源を仮定した。大阪湾岸などで観測波形に見られた大振幅の波群の到来を概ね再現する事ができた。大阪盆地での大振幅の長周期地震動は、主としてそれら2つのSMGAを震源とする地震動が伝播経路特性、盆地特性により増幅されて生成されたと考えられる。

### 謝辞

本研究では、独立行政法人 防災科学技術研究所による強震観測網(K-NET)、基盤強震観測網(KiK-net)、広帯域地震観測網(F-net)、関西地震観測研究協議会、独立行政法人 建築研究所、気象庁、大阪府の強震波形記録を使用いたしました。記して感謝申し上げます。

## 南海トラフの海溝型巨大地震を対象とした長周期地震動ハザード評価 Long-period ground motion evaluation for the Nankai Trough megathrust earthquakes

前田 宜浩<sup>1\*</sup>; 森川 信之<sup>1</sup>; 青井 真<sup>1</sup>; 藤原 広行<sup>1</sup>  
MAEDA, Takahiro<sup>1\*</sup>; MORIKAWA, Nobuyuki<sup>1</sup>; AOI, Shin<sup>1</sup>; FUJIWARA, Hiroyuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所

<sup>1</sup> NIED

南海トラフのプレート境界ではマグニチュード8級の海溝型巨大地震が繰り返し発生しており、強震動や津波によって甚大な被害が引き起こされてきた。一方で、海溝型巨大地震では震源から遠く離れた平野や盆地においても高層ビルや石油タンクなどの長大構造物が長周期地震動による被害を受けることが知られている。南海トラフ沿いの大都市は平野上に発達しており、南海トラフの海溝型地震に対しては強震動と津波の評価のみならず長周期地震動の評価も重要である。「南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）について」[地震調査委員会（2013）；以下、長期評価と略す]では、2011年東北地方太平洋沖地震の経験を踏まえ、過去に発生したことが確認されていないものの現在の科学的知見に基づいて推定される最大クラスの地震も含めた地震の多様性が考慮されている。将来発生する地震として多様な震源モデル（シナリオ）が想定される中では、少数に限られたシナリオのみを考慮した地震動の評価では不十分であり、ある地点に対して影響を及ぼす全ての地震を考慮して、その地点が大きな地震動に見舞われる危険度を評価する地震ハザード評価が有効だと考えられる。Maeda et al. (2013)では、南海トラフで従来想定されてきた単独型・連動型の地震や、長期評価で示された最大クラスの地震を対象として、震源域、アスペリティ（強震動生成域）配置、破壊開始点などを変えた100ケース程度の震源モデルに基づいた長周期地震動シミュレーションを行い、予測結果が極めて大きなばらつきを持つことを示した。本検討ではこれまでの検討を踏まえ、長周期地震動ハザード評価に向けた検討として、さらに多数のシミュレーション結果に基づいた統計的な評価を試行する。

震源モデルの違いによる長周期地震動のばらつきの幅を把握することを目的として、南海トラフの地震を対象として300ケース超の震源モデルを設定し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。震源域については、長期評価と同様に最大クラスの震源域を走向方向に6区分、深さ方向に3区分した小領域に分割し、それらの組合せとしてマグニチュード8級から最大クラスまでの15パターンの震源域を設定した。また、これまでの検討から、長周期地震動は破壊開始点とアスペリティ配置による破壊の指向性の影響を強く受けることから、これらについての不確定性を考慮した。さらに、トラフ沿いの浅い領域に対しては、震源時間関数や破壊伝播速度を変えることで長周期地震動の励起強さについての不確定性を考慮した。長周期地震動の計算に用いる特性化震源モデルの各パラメータは、「震源断層を特定した地震の強震動予測手法（レシピ）」（地震調査委員会、2008）に従って設定した。計算に用いる地下構造モデルは、全国1次地下構造モデル（暫定版）（地震調査委員会、2012）に「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」の成果（東京大学地震研究所・他、2012）をもとにフィリピン海プレート上面構造の修正を施したものから、南西部に九州全域、北部に新潟平野までが含まれる範囲（東西1150km、南北950km、深さ100km）を切り出したものとした。長周期地震動の計算はGMS（青井・他、2004）により行い、計算により得られる工学的基盤上での最大地動速度値、速度応答スペクトルに基づいてばらつきの評価を行う。全ケースについての結果からは、地点により数10倍から100倍程度の振幅のばらつきがみられる。また、震源域の東方延長上に位置する関東平野内では、濃尾平野や大阪平野等よりもばらつきが大きい傾向がみられる。結果を震源域毎に分離すると、地震規模の大きな地震ほど振幅が大きい傾向も認められる。さらに、震源域毎に複数の計算結果が得られることから、震源域毎の平均的なシナリオや一回り大きなシナリオを地点ごとに抽出したり、確率論的地震動予測地図（地震調査委員会、2013）で設定されている「重み」を考慮することで、全ケースについての平均的なシナリオなどを地点ごとに抽出することを試みる。

謝辞：本研究は、「長周期地震動ハザードマップ作成等支援事業」による。また、本研究の一部は、学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点、および、革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラの支援による。

キーワード: 南海トラフ, 長周期地震動, 海溝型巨大地震, ハザード評価, GMS

Keywords: Nankai Trough, long-period ground motion, megathrust earthquake, hazard assessment, GMS

## 相模トラフの海溝型巨大地震を対象とした長周期地震動ハザード評価に向けた検討 Long-period ground motion evaluation for the Sagami Trough megathrust earthquakes

森川 信之<sup>1\*</sup>; 前田 宜浩<sup>1</sup>; 岩城 麻子<sup>1</sup>; 今井 隆太<sup>2</sup>; 青井 真<sup>1</sup>; 藤原 広行<sup>1</sup>  
MORIKAWA, Nobuyuki<sup>1\*</sup>; MAEDA, Takahiro<sup>1</sup>; IWAKI, Asako<sup>1</sup>; IMAI, Ryuta<sup>2</sup>; AOI, Shin<sup>1</sup>; FUJIWARA, Hiroyuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所, <sup>2</sup> みずほ情報総研

<sup>1</sup>National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, <sup>2</sup>Mizuho Information & Research Institute, Inc.

将来発生する地震に対して、少数のシナリオに基づく地震動予測では不十分であり、不確実性および発生頻度を考慮したハザード評価を行うことが重要である。Iwaki et al. (2013) では、主に大正関東地震に相当する震源域を対象として、アスペリティ（強震動生成域）や破壊開始点位置の不確実性、および破壊伝播速度やすべり方向の不均質性の長周期地震動への影響を調べた。ここでは、その結果を踏まえた長周期地震動ハザード評価に向けた検討として、不確実性が大きいと考えられ、かつ長周期地震動への影響が特に大きい、アスペリティおよび破壊開始点の位置を変えた多数の震源モデルによる長周期地震動シミュレーションを行い、その結果を統計的に評価することを試みた。

マグニチュード 8 クラス以上の巨大地震を対象として、震源域、アスペリティおよび破壊開始点の位置を変えた 150 ケース以上の震源モデルについて、差分法による長周期地震動シミュレーションを行った。震源域については、Iwaki et al. (2013) による設定を基本としつつ、首都直下地震モデル検討会（2013）による大正地震および元禄地震に相当するモデルを含む 10 パターンに変更した。結果として、地震の規模の範囲はモーメントマグニチュード（Mw）で 7.9~8.6 となっている。震源モデルは特性化震源モデルとし、地震調査委員会の震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）に従ってそれぞれの震源パラメータを設定した。地下構造モデルは、全国 1 次地下構造モデル（暫定版）（地震調査委員会、2012）にフィリピン海プレート上面構造を修正したものをを用いた。差分法の計算は GMS（青井・他、2004）により行った。長周期地震動ハザード評価として、工学的基盤上の最大速度および速度応答スペクトル（周期 5 秒、7 秒、10 秒）について、10 パターンの震源域ごとに平均値や大きめ（+1 $\sigma$ ； $\sigma$  は標準偏差）を求めるとともに、各パターンに対して発生頻度に対応するような「重み」を仮定して重ね合わせることを試みた。

今回の検討では多くの震源モデルを設定したものの、相模トラフの巨大地震に対する不確実性すべてを網羅できていないわけではなく、さらに多くの震源モデルによる検討が今後も必要である。一方で、相模トラフの地震に関しては、マグニチュード 8 クラスの震源域が首都圏直下まで広がることや、今回対象としなかったマグニチュード 7 クラスの地震の発生が切迫しているとされていることから、今後は短周期地震動も含めた広帯域地震動ハザード評価を進める必要がある。

キーワード: 長周期地震動, ハザード評価, 相模トラフ, 海溝型巨大地震, GMS

Keywords: long-period ground motion, seismic hazard assessment, Sagami Trough, megathrust earthquake, GMS

## 長距離を対象とした長周期地震動の距離減衰式の提案—F-net 記録に基づく幾何減衰項の距離依存に着目した検討— Empirical ground motion model for long period motions and for long distance -Distance dependent geometrical spreading term

元木 健太郎<sup>1\*</sup>; 加藤 研一<sup>1</sup>  
MOTOKI, Kentaro<sup>1\*</sup>; KATO, Kenichi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 小堀鐸二研究所  
<sup>1</sup> Kobori Research Complex Inc.

長周期帯域を対象とした距離減衰式は、佐藤・他 (2012)、片岡・他 (2008)、湯沢・工藤 (2011) 等によって提案されており、それらの式の作成には震央距離が 500km までの観測記録が用いられている。一方、2011 年東北地方太平洋沖地震の際に、震源距離が 700km を超える大阪市咲洲において市庁舎内に地震被害が発生し、より長距離に適用可能な距離減衰式も望まれている。また適用範囲が 500km 以内に限られると、南海トラフで発生する地震に対する関東平野の予測には、震源の一部が適用範囲を超える。南海トラフの地震に対する関東平野の理論的手法による予測は、5%の応答スペクトルで 100cm/s を大きく上回る結果も得られており (森川・他、2013)、多種の予測による比較を行うためには、長距離を対象とした経験的評価が必要である。本検討では、1000km までの長距離を対象とした距離減衰式を作成することを目的として、幾何減衰と震源距離の関係について着目する。

震源距離が長い観測記録は振幅が小さく、継続時間が長くなる。トリガー観測では記録が得られる点が少ないことや、後続位相が含まれない記録となることがある。また加速度記録では、振幅が小さい場合に長周期帯域の SN 比が下がる記録もある。本検討では長周期帯域で精度が高く連続観測による F-net の記録を使用した。対象とする地震は M5.0 以上のプレート境界地震、対象周期は 1-20 秒とした。F-net の観測点は基盤と見なせる点が多く、湯沢・工藤 (2011) と同様に回帰式はサイト係数を含まない式とした。

まず、距離減衰項を一般的な幾何減衰項と非弾性減衰項を距離に依存せずに一定として回帰した。非弾性減衰の小さい周期 20 秒の回帰曲線は、距離が約 100km 以内の範囲において観測記録の平均よりも傾きが小さく、逆に距離が 500km を超える範囲においては観測記録の平均よりも傾きが大きくなる傾向が得られた。これは距離範囲に依らず一定の減衰項を用いた距離減衰式による予測では距離範囲が短い範囲と長い範囲において、過小評価になることを示している。友澤・他 (2010) は、短周期帯において距離レンジによって減衰項の係数を変えた距離減衰式を求め、震源近傍の予測の精度を高めることに成功している。

非弾性減衰が小さい長周期では、震源距離が離れるにつれて実体波から表面波へと卓越する地震動成分の変化が現れ、幾何減衰による傾きは距離によって変化すると考えられる。長周期で幾何減衰がどのように変化するかを求め、距離範囲毎に幾何減衰項を評価する。また F-net の観測点密度による震源近傍の観測記録の少なさを補うため、Hi-net のデータも追加する予定である。

キーワード: 長周期地震動, 長距離, 幾何減衰  
Keywords: long period motions, long distance, geometrical spreading

## Long-Period Ground Motion Prediction Equations and Their Application to the Magnitude Estimation of Large Earthquakes

### Long-Period Ground Motion Prediction Equations and Their Application to the Magnitude Estimation of Large Earthquakes

IBRAHIM, Rami<sup>1\*</sup>; SI, Hongjun<sup>1</sup>; KOKETSU, Kazuki<sup>1</sup>; MIYAKE, Hiroe<sup>1</sup>  
IBRAHIM, Rami<sup>1\*</sup>; SI, Hongjun<sup>1</sup>; KOKETSU, Kazuki<sup>1</sup>; MIYAKE, Hiroe<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo

<sup>1</sup>Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo

We developed long-period ground motion prediction equations (GMPEs) for peak ground velocities (PGVs) and peak ground displacements (PGDs) in a period range of 5-30 s. We only used strong motion data of KiK-net downhole stations located in layers of shear-wave velocities equal to or greater than 2000 m/s. We confirmed that the site effects due to surface geology for long-period PGVs and PGDs can be ignored at these observation stations. The dataset consists of 20 earthquakes of  $6 \leq M_w \leq 9.1$  occurred in and around Japan. Two-stage regression analyses were carried out to derive the GMPEs. We fit the data with bilinear regression lines bending at  $M_w$  7.5. Additional factors of focal depth and earthquake type were found to enhance the fitting with the observed data. Our developed long-period GMPEs predict the PGVs and PGDs of crustal earthquakes are larger than those of inter-plate and intra-plate earthquakes. The attenuation coefficients presented in the current study indicate that the long-period PGVs and PGDs increase by increasing depth.

We used the long-period GMPEs developed in this study to estimate the moment magnitude by fitting observed PGVs and PGDs at period range of 5-30 s with GMPEs. We estimated the magnitudes of the same 20 earthquakes and the 2013 Awaji Island earthquake ( $M_w$  5.8) recorded by downhole accelerometers of KiK-net. The results are consistent with the moment magnitudes from the Global CMT project. The method is useful to estimate the magnitude of giant earthquakes such as the 2011 Tohoku earthquake ( $M_w$  9.1). The proposed method can estimate the moment magnitude quickly if information of source area is available.

キーワード: long-period ground motion, ground motion prediction equation, moment magnitude, PGV, PGD

Keywords: long-period ground motion, ground motion prediction equation, moment magnitude, PGV, PGD

## 加速度計から得た速度と変位波形の誤差評価について Evaluation of random errors of displacements and velocities from strong motion records

徐 培 亮<sup>1\*</sup>  
XU, Peiliang<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 京都大学防災研究所

<sup>1</sup> Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

Strong motion accelerographs have been deployed worldwide to monitor the ground shaking of the Earth and the recorded accelerograms have been used to recover the velocities and displacements by integration. In spite of their fundamental importance in seismology and earthquake engineering, few works address the error estimates of the derived velocities and displacements. Although accelerographs have been used to compute velocity and displacement waveforms for more than 80 years, we show that no publications on error estimates of computed velocity and displacement waveforms are correct from the statistical point of view. We show that the error estimates of the velocities and displacements obtained from accelerograms in the earthquake literature approach to zero as the sampling interval of accelerographs tends to zero; these are erroneous from the statistical point of view. As a result, we present a set of formulae to correctly estimate the errors (or variances) of the integrated velocities and displacements from accelerograms. In addition, we also derive the covariances between the velocities and displacements.

*Evaluation of random errors of displacements and velocities from strong motion records*

Peiliang Xu

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

13, Kyoto 611-0001, Japan

E-mail: [peiliang.xu@dpri.kyoto-u.ac.jp](mailto:peiliang.xu@dpri.kyoto-u.ac.jp)

### Abstract

Strong motion accelerographs have been deployed worldwide to monitor the ground shaking of the Earth and the recorded accelerograms have been used to recover the velocities and displacements by integration. In spite of their fundamental importance in seismology and earthquake engineering, few works address the error estimates of the derived velocities and displacements. Although accelerographs have been used to compute velocity and displacement waveforms for more than 80 years, we show that no publications on error estimates of computed velocity and displacement waveforms are correct from the statistical point of view. We show that the error estimates of the velocities and displacements obtained from accelerograms in the earthquake literature approach to zero as the sampling interval of accelerographs tends to zero; these are erroneous from the statistical point of view. As a result, we present a set of formulae to correctly estimate the errors (or variances) of the integrated velocities and displacements from accelerograms. In addition, we also derive the covariances between the velocities and displacements.

## インドヒマラヤ地域における強震動観測ネットワークによる地震検知 Earthquake detection from strong ground motion observation network in Himalaya, India

増田 徹<sup>1\*</sup>; 瀧澤 一起<sup>1</sup>; 鷹野 澄<sup>2</sup>; 古村 孝志<sup>2</sup>; 大木 聖子<sup>3</sup>; 伊藤 貴盛<sup>3</sup>; Chadha Rajender Kumar<sup>4</sup>; Srinagesh Davuluri<sup>4</sup>; Srinivas Dakuri<sup>4</sup>  
MASUDA, Tetsu<sup>1\*</sup>; KOKETSU, Kazuki<sup>1</sup>; TAKANO, Kiyoshi<sup>2</sup>; FURUMURA, Takashi<sup>2</sup>; OKI, Satoko<sup>3</sup>; ITO, Takamori<sup>3</sup>; CHADHA, Rajender kumar<sup>4</sup>; SRINAGESH, Davuluri<sup>4</sup>; SRINIVAS, Dakuri<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 東京大学情報学環, <sup>3</sup> 慶応義塾大学大学院, <sup>4</sup> National Geophysical Research Institute

<sup>1</sup> Earthquake Research Institute, <sup>2</sup> University of Tokyo, <sup>3</sup> Keio University, <sup>4</sup> National Geophysical Research Institute

自然災害の要因究明に向けた観測データの収集と解析のための技術的開発及び整備は、地震災害の減災、緊急対策、及び復旧計画の策定にとって重要課題の一つである。「自然災害の減災と復旧のための情報ネットワーク構築に関する研究」はこの課題に対する JST と JICA の国際共同研究「地球規模課題国際科学技術協力プロジェクト」のひとつであり、日本とインドの研究者が参加し、インドヒマラヤ地域のヒンドウスタン平野とヒマラヤの麓において強震動観測、地殻変動観測、及び建物振動に関する研究を進めているところである。

インド北部ヒマラヤ地域の地震活動度の高い領域に 26 観測点を配置し、2012 年 10 月にこの地域での強震観測が開始された。地震計には広帯域速度型強震計を選択しデジタルレコーダーによる連続記録を得ている。地震計の記録帯域が広いことと記録計の分解能が高いことにより、短周期強震動の記録のみならず、観測ネットワークの近傍で発生する小地震からの微弱な地震動や遠地地震からの長周期地震動も記録されることが期待される。地震記録を有効に利用するためには連続記録のなかから地震記録を取り出すことが必要である。本報告では、連続記録から地震を早く正確に検知するための方法とその結果について報告する。

ネットワークの観測点はヒマラヤ地域の学校敷地内に設置されているため、地動ノイズが常に低いということではなく時間により変化し、また突発的な大きなノイズが発生することもある。このことを踏まえて、ノイズが高い環境でも早く正確に地震を検知するための簡単な方法を開発し、この方法で検知した地震と NEIC カタログに記載されている地震とを比較した。観測開始から現在までの期間で、震央距離に関わりなく、マグニチュード 7.0 以上の全ての地震、マグニチュード 6.5~6.9 の地震の 90 % 以上、マグニチュード 6.0~6.4 の地震の 50 % 以上がネットワークにより検知された。震央距離 100 度以内の範囲ではマグニチュード 6 以上の 80% 以上の地震が検知された。検知された地震のなかには NEIC カタログに記載されていない地震が含まれる。S-P 時間からネットワーク近傍の小地震であると判断されるが、これらは狭い領域内での応力状態を示す指標となるものであり、このような地震の検知はこの地域の地震環境を明らかにする上で重要である。

現在までの結果から、強震動観測ネットワークにより、ヒマラヤ地域の地震活動、震源から観測点までの伝播経路の影響、観測点におけるサイト特性、震源過程、地下構造の研究のために、ネットワーク近傍の地震及び遠地地震からの有効な記録が得られることが期待される。

キーワード: 強震動, 観測, ネットワーク, 地震検知

Keywords: strong ground motion, observation, network, earthquake detection

## 傾斜基盤の基端部から発生する表面波による液状化被害の拡大 Liquefaction damage expansion caused by the generation of surface waves from base end section

中井 健太郎<sup>1\*</sup>; 野田 利弘<sup>1</sup>; 村瀬 恒太郎<sup>1</sup>; 浅岡 顕<sup>2</sup>; 澤田 義博<sup>2</sup>

NAKAI, Kentaro<sup>1\*</sup>; NODA, Toshihiro<sup>1</sup>; MURASE, Kotaro<sup>1</sup>; ASAOKA, Akira<sup>2</sup>; SAWADA, Yoshihiro<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学大学院工学研究科, <sup>2</sup> 地震予知総合研究振興会

<sup>1</sup>School of Engineering, Nagoya University, <sup>2</sup>Association for the development of earthquake prediction

東日本大震災では、浦安市をはじめ、広範囲の東京湾沿岸部の埋立て地盤において液状化現象が発生した。特徴の1つには、液状化地点と非液状化地点が空間的に不均一・非一様に分布していたことが挙げられる。その要因としては、地盤状態の不均一性、つまり、埋立て年代に伴う密度の違いや地盤改良の有無として解釈されることが多い。浦安市の地層構成に着目すると、液状化被害が軽微であった陸側は液状化層直下の軟弱粘土層厚が10m程度と薄いのに対し、液状化被害が甚大であった海側へ向かうほど軟弱粘土層厚が50mと厚く、約2kmにわたって基盤層が傾斜している。本稿では、この地層境界の傾斜に着目して二次元有効応力解析を実施し、傾斜基盤が表層の液状化発生に及ぼす影響を数値解析的に検討した。用いた解析コードは、砂から中間土、粘土までを同じ理論的枠組で記述する弾塑性構成式（SYSカムクレイモデル）を搭載した水～土骨格連成有限変形解析コードGEOASIAである。

図1(a)は、地震発生から50秒後の速度ベクトル図である。地層傾斜部周辺を示しており、鉛直方向にメッシュを2倍拡大している。表層部において反時計回りに巻き上げるような表面波の発生が確認できる。この表面波は傾斜基端部で発生し、図中の右側へ進行していく。図中には、基盤傾斜部中央付近における液状化層における平均有効応力低下率を、同地点の地層構成を反映して別途実施した、一次元解析結果（水平成層地盤）と重ねて示している。一次元解析では液状化しなかった（平均有効応力低下率<95%）が、二次元解析では平均有効応力低下率が95%以上となって液状化している（図1(b)）。表面波の発生に伴って、地表付近での加速度が大きくなると同時に、主要動終了後も比較的大きな揺れが継続するためであり（図1(c)）、二次元解析では平均有効応力低下率が長時間、上昇を続けている様子が見られる。図1(d)には、地震発生から200秒後のせん断ひずみ分布図を示す。表面波の発生に加え、地層傾斜の影響による地震波の屈折・反射によって、均質な地盤材料を想定した表層部においても不均一なせん断ひずみ分布が発生している。特に傾斜部直上でせん断ひずみが大きい。これは実際に浦安市で観測された液状化被害の様相とも符合し、非一様な液状化被害は、単に地盤の不均一性だけでなく、深部地層傾斜の影響もあったことが推測される。

以上まとめると、1) 基盤の傾斜によって傾斜基端部から表面波が生成され、表層地盤の継続的な揺れを引き起こすこと、2) それに伴い、傾斜部直上では加速度が大きくなると同時に、主要動終了後も比較的大きな揺れが継続するため、液状化が拡大すること、3) 均質な地盤材料であっても、層序の不均質性に起因して地震波が複雑に伝播し、地盤変状が大きくなること、を示し、多次元有効応力解析の必要性和有用性を示唆した。

Asaoka, A. et al.: Non-uniformity of surface layer liquefaction damage caused by layered system organization and dip of deeper layer, Japan Geoscience Union Meeting, SSS37-06, 2011.

Asaoka, A. et al.: Main shock ? aftershock interval effect on the liquefaction damage in Tohoku Region Pacific Coast Earthquake, Japan Geoscience Union Meeting, SSS33-P24, 2013.

Asaoka, A. et al.: An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, S&F, 42(5), 47-57, 2002.

Noda, T. et al.: Soil-water coupled finite deformation analysis based on a rate-type equation of motion incorporating the SYS Cam-clay model, S&F, 48(6), 771-790, 2008.

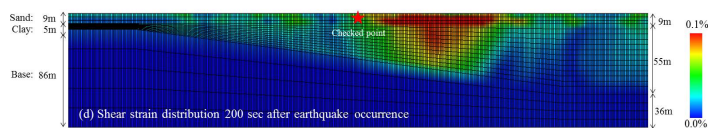
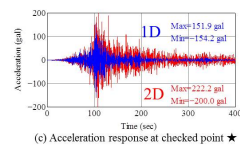
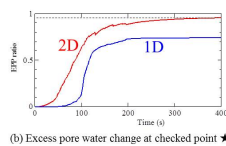
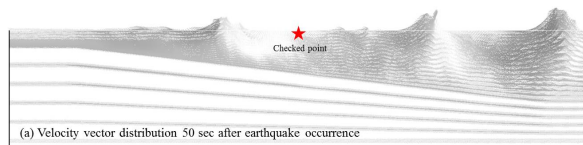
キーワード: 液状化, 傾斜基盤, 表面波, 有効応力解析

Keywords: liquefaction, stratum inclination, surface wave, effective stress analysis

SSS23-19

会場:211

時間:5月1日 15:15-15:30



## 2011年東北地方太平洋沖地震における液状化発生率と強震継続時間の関係の検討 Relationship between liquefaction occurrence ratio and strong ground motion duration for the 2011 off the Pacific coast

先名 重樹<sup>1\*</sup>; 若松 加寿江<sup>2</sup>; 松岡 昌志<sup>3</sup>  
SENNA, Shigeki<sup>1\*</sup>; WAKAMATSU, Kazue<sup>2</sup>; MATSUOKA, Masashi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所, <sup>2</sup> 関東学院大, <sup>3</sup> 東工大  
<sup>1</sup> NIED, <sup>2</sup> Kanto Gakuin University, <sup>3</sup> Tokyo Inst. Tech

### 1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震では、東北地方から関東地方にかけての極めて広い範囲で液状化が発生した。特に関東の被害範囲・規模は非常に大きなものであった。被害が大きくなった理由について、今回の地震の余震を含めた継続時間の長さが被害規模を大きくしたとの研究報告もなされている。本研究では、液状化の発生率について、東北地方太平洋沖地震の地震動の継続時間の影響の検討を目的として、K-NET、KiK-net、気象庁、自治体の地震計の波形記録から、震度および功刀・他(2008)による「リアルタイム震度」を計算し、若松・先名(2014)の液状化発生地点のデータと松岡・他(2011)の液状化発生率を計算する手法を参考に、継続時間の長さが液状化に与える影響を検討した。

### 2. 計測震度とリアルタイム震度分布の計算について

継続時間の考慮をするにあたり、まず、松岡・他(2011)による、液状化発生率の計算方法に基づき、2011年東北地方太平洋沖地震の液状化発生地点に基づく、液状化発生率を計算した。なお、東北地方太平洋沖地震については、海岸付近は津波により液状化の痕跡が明瞭ではないことから、津波被害エリアを除いて評価した。入力としての地震動強さの指標は計測震度とし、地形・地盤分類 250m メッシュマップから推定した地盤の平均 S 波速度 ( $V_{s30}$ ) による地盤増幅率を考慮し、空間補間したものから地表の計測震度を求めている。一方、継続時間の考慮については、功刀・他(2008)の「リアルタイム震度」を用い、液状化が発生する計測震度閾値を 4.5 として、その震度よりも大きくなる部分の面積 ( $\Delta I_s$ ) を求めた。求めた面積を、液状化を発生させる継続時間とみなし、計測震度分布同様の手法で空間補間をしたものから各メッシュの  $\Delta I_s$  を算出した。

計算結果と各地震についての液状化発生率との比較を行った。使用した強震観測記録は、防災科研の K-NET、KiK-net、気象庁および自治体の震度計等の地震観測記録を使用した。

### 3. 液状化発生率と継続時間との関係

東北地方太平洋沖地震の計測震度区分における東北地方の液状化発生率を微地形区分ごとに計算した。なお、全メッシュ数が 10 個未満については、算出される発生率の信頼性が低いと考えて検討対象外とした。東北地方単独で液状化の発生率を算出すると、松岡らのフラジリティカーブをやや下回る結果となり、関東地方の方が同じ計測震度で液状化発生率が高くなる傾向を示している。この原因を明らかにするために、継続時間の影響を考慮して、東北地方と関東地方の液状化発生率を比較した。同じ計測震度に対して東北地方の  $\Delta I_s$  は非常に大きく関東地域は比較的小さい。前述の東北地方と関東地方の液状化発生率の違いとは、逆の傾向を示している。液状化発生率と継続時間の関係を比較すると、関東地方の方が、より低震度・低継続時間で液状化が発生したといえる。なお、先名・他(2013)では、千葉県東方沖地震における液状化発生傾向は、東北地方太平洋沖地震での関東地方と同様に、 $\Delta I_s$  が小さくても発生率が大きくなる傾向がみられたが、液状化の震度に対する発生率は、東北地方太平洋沖地震の同じ震度に対し半分程度であった。すなわち、東北地方太平洋沖地震において関東地方の液状化発生率が高かったのは、継続時間の影響に加えて関東地方の地域性である可能性が高いことを示している。また、今回の検討では、地域性の違いを明らかにするために、松岡・他(2013)で示した 2 つの地域区分に分けて液状化の発生率を検討しており、ここでも地域性に大きな差があることを確認している。

### 4. まとめ

2011年東北地方太平洋沖地震における液状化発生に及ぼす地震動の継続時間の影響を検討するために、 $\Delta I_s$  を地震動継続時間の指標として東北地方と関東地方の液状化発生率を比較した。その結果、関東地方の方が低震度・低継続時間で液状化が発生したことが明らかになり、両地域の地域性に違いがある可能性が示唆された。今後、地震の大きさ ( $M_w$ ) と地域性を考慮した液状化発生率の検討をより詳細に行う予定である。

### <参考文献>

功刀卓・中村光洋・青井真・森川信之・藤原広行：地震瞬時速報システムのための強震観測記録、地震、第 60 巻、2008 年、pp.243-252.

若松加寿江・先名重樹：4 章 1.1 液状化発生地域の分布と被害の傾向、東日本大震災合同調査報告 共通編 3 地盤災害、

# Japan Geoscience Union Meeting 2014

(28 April - 02 May 2014 at Pacifico YOKOHAMA, Kanagawa, Japan)

©2014. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SSS23-20

会場:211

時間:5月1日 15:30-15:45

丸善出版(株)、2014.3.

先名重樹・松岡昌志・若松加寿江・翠川三郎：2011年東北地方太平洋沖地震における液状化発生率と強震継続時間の関係の検討、第48回地盤工学研究発表会講演集、pp.1717-1718, 2013.7.

松岡昌志・若松加寿江・先名重樹：過去の液状化履歴からみた液状化発生率の地域性の検討、第48回地盤工学研究発表会講演集、pp.1715-1716, 2013.7.

キーワード: 液状化発生率, 強震継続時間, 微地形区分, フラジリティ曲線, 地域特性

Keywords: Occurrence of liquefaction, Continuation time of strong ground, Geomorphologic classification, Fragility curve, Regional peculiarity

## 波相論とソリトン The Wave Features Theory and Soliton

西澤 勝<sup>1\*</sup>  
NISHIZAWA, Masaru<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> なし

<sup>1</sup> none

### 1. まえがき

筆者は文献1で、地震発生後50秒足らずで1回目の、90秒過ぎに急激な加速度の上下変動が認められ、文献2で示した(図-1)尾池和夫氏の宮城県南部沖のGPS波浪計の記録の、一つ目は“水面にゆっくりした上昇をもたらしたプレート型の地震動であり、二つ目は断層型という海底の急激な上下変動である”と述べた。本論文では、このゆっくりした水面上昇とSolitonを発生させるような急激な水面変動を生じさせる地震波を、Wave Features Theoryを用いて簡単に説明する。

### 2. 水面変動形態と Wave Features Theory

Frequency がたとえば3 c/s と20 c/s の Seismic Wave を考える。筆者は直感で3 c/s の地震波は“ゆっくりした水面変動”を、20 c/s の地震波は、“より急激な水面変動”を起こすと考え。したがって、図-1の尾池和夫氏の著書の“緩やかな水面上昇”と記されている部分の地震波のFrequencyは小で、“急激な上昇”とある部分の地震波のFrequencyは大であるはずである。2011年、東日本大震災では、Solitonを発生させたわけである。尾池和夫氏の図で、②～⑦と波の山の番号が打たれていることは、この図の品格を著しく高めていることは、函館での地震学会で述べた通りである。②～⑦は孤立波ソリトン(Break down of Solitary Wave Solitons)の分裂を示しており、後のソリトンの衝突、追い越しを考えさせられるからである。3 c/s と20 c/s の地震波のスペクトル(振動数の大、小の異なる地震波)の山の形(正規分布形)(文献2)のちがいが理解されれば、水面がゆっくり上昇あるいはより急激に上昇するかが理解される。これは、水面変動ばかりでなく、地盤についても、建物についても同様である。構造物の場合には、大きな構造物(長周期構造物)と小さな構造物(短周期構造物)について、文献3、4、5等で述べた。2012.3.11 東日本大地震では、壊れなかった建物が翌月4.7の宮城県沖地震で壊れたという建物がかかなりあったと聞く。この原因も、地震波のスペクトル形(正規分布形)により、判断すると考える。

### 3. 関東大震災の文学者達の眼(The eye of Writers under the title “The Great Kanto Earthquake (of 1923)”)

a) 正宗白鳥。「文明の薄弱さ」で“大磯なども東京人の別荘は全て破壊され、トタン屋根の貧弱な家は大抵は倒壊を免れた。田山花袋も「東京震災記」等で同じような記述をしている。

b) 竹久夢二。「変災雑記」で、昔の職人の建てた土蔵は所々に残ってゐる。陶磁器も眼で見た全体の感じと、質と量と形の上の釣合のとれたものはびくともしていない。一見してよくないものは倒れたり壊れたりしてゐる。アメリカ仕入れの西洋菓子のような、所謂文化建築は、いち早くぺちゃんこになった。又邪魔物にして、取り壊すとか、埋めるとか、二重橋の空き地にビルディングを建てるとかよくきいたが、上野の森や不忍の池、宮城の濠や芝や愛宕の山がどれだけ火事を防いでくれたかと、次の東京は、「緑の東京」でなくてはと述べている。文献3、4、5等で述べた、阪神大震災での、大きな構造物(長周期構造物)と小さな構造物(短周期構造物)の挙動のちがいについて、ここで述べた文学者達以外も描写記述されている。もしこれらの文学者達に科学的知識があれば、関東大震災直後から、今日の長周期・短周期構造物に対する諸問題の研究がスタートしていたように思われる。

### 4. これからの地震学について(From now on, Seismology)

これからの「地震学」は流体力学、特に「波動理論」が大切である。広くは「振動学」となる。構造物は「振動学」、「地盤の液化化」は「波動論」。又今回の2011 東日本大震災の津波計算では、Solitonの発生によることから、「非線形波動」つまり「非線形波動とソリトン」、KDV方程式の学問等が必要となる。又NZ地震、浦安などの液化化も、湖のような“波動論”であつかう必要があることは、すでに述べた。

### 参考文献

1. 西澤勝(Masaru Nishizawa): GPS 波浪計のSolitonと2011 東日本大震災の地震波との関係(The Relationship between Soliton in GPS Wave gage and Seismic Wave of 2011 The TOHOKU District Pacific Ocean Earthquake), JpGU S-SS-33-19 (2013.5.19-24)
2. 西澤勝(Masaru Nishizawa): 地震動によるフーリエスペクトルの山の形(正規分布形)の考察(Study of Shape of Mountain (Normal Distribution) of Fourier Spectrum of Earthquake Motion), JpGU S-SS30-P12 (2012.5.20-25)
3. 西澤勝: 阪神大震災の調査結果の感想、第21回日本環境学会講演集、1995
4. 西澤勝: 1995年1月兵庫県南部地震の液化化に伴う免振力についての若干の考察
5. 西澤勝: 液化化に対する私見とその応用、第37回日本環境学会研究発表会、2011年6月

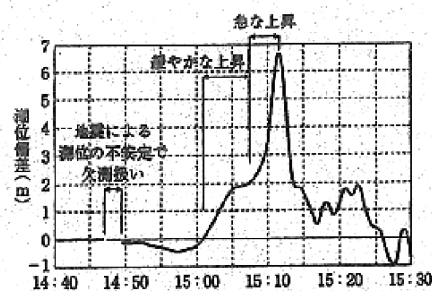
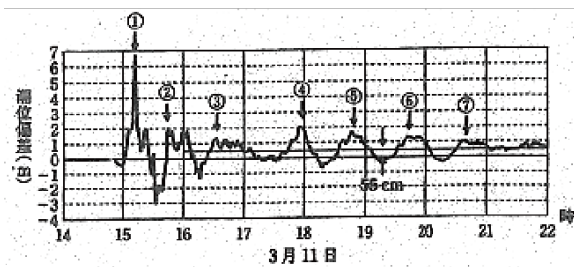
SSS23-21

会場:211

時間:5月1日 15:45-16:00

キーワード: 波相論, ソリトン, KDV 方程式, 非線形波動

Keywords: Wave Features Theory, Soliton, KDV Equation, Nonlinear waves



尾池和夫著

「日本列島の巨大地震」

岩波科学ライブラリー 185, P10

①: Soliton

②～⑦: Break down of Solitary wave Solitons

参考: 日野幹雄著「流体力学」

朝倉書店, 1992

岩手県南部沖のGPS波浪形の記録(左)と最初の部分の拡大図(右)

国土交通省のデータをもとに作成

## 地震ハザードカルテ - 多指標とりまとめ型地震ハザード情報提供ツールの開発 Seismic hazard karte : A Tool for distribution of seismic hazard information with Multi-index

東 宏樹<sup>1\*</sup>; 藤原 広行<sup>1</sup>  
AZUMA, Hiroki<sup>1\*</sup>; FUJIWARA, Hiroyuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所

<sup>1</sup> National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

### 1. 地震ハザードカルテの概要

防災科研は2013年7月に『地震ハザードカルテ』を公開した。『地震ハザードカルテ』とは地点ごとの地震ハザード情報をまとめたもので、任意の場所を検索しその場所に関する地震危険度の診断書を作成することができる。結果は健康診断の通知書のように地震の危険度に関する各種地盤情報・ハザードカーブなどの多指標を多数のチャートやグラフを用いてA4 1枚にまとめられた一覧形式で表示する。

### 2. 開発の目的

地震本部による地震ハザード情報に対する国民の認知度等に関する調査や、総合部会における議論等から、利用者自身に由縁を持つある地点を起点として診断する形式を利用することで、地震ハザードに対する認識を広めることが可能と考えられた。地震ハザードカルテは他の地震ハザード情報と同様に基本的には一般市民全体に向けての発信であるが、ユースケースに分解した場合に大きく分けて以下の領域において使われることを想定した。特に①保険・不動産などの事業者に対しては、顧客向けのサービス資料として。②防災教育関係者および防災に携わる地域住民に対しては、ワークショップや家庭で対策を進めるための道具や、地域の地震ハザード情報の見方を教える教材として。③IT関係者、開発者に対しては、公開APIであるJ-SHIS Web APIを利用してレスポンス（返値）を表現するやり方のサンプルとして、それぞれ利用がしやすいよう意識して設計し、開発を行った。

### 3. 公開した結果

公開した当初から多くの反響があり、国により一元的に評価された地震ハザード情報の見せ方の一つとして一定の効果を上げたと考えられる。今回地震ハザードカルテとして提供された情報の中にコンテンツとして新しいものは一つもなく、全てJ-SHIS | 地震ハザードステーションからもとより提供されていた情報を異なる形式で可視化したに過ぎない。しかしそれでもカルテに対してポジティブなものでは「大変わかり易くてよい。遠くに住む家族にも教えた」というものから、ネガティブなものでは「こんなものが出ると当社の所有物件の価値に影響して困る」というような、ハザード情報が新規に公開された時のような反応が多数みられた。

### 4. 参考 URL

地震ハザードカルテ <http://www.j-shis.bosai.go.jp/labs/karte/>

地震ハザードカルテの見方 <http://www.j-shis.bosai.go.jp/karte-manual>

【ユレッジ特別企画】地震ハザードカルテの見方をざっくり解説 <http://www.yullege.jp/?p=282>

J-SHIS Web API : <http://www.j-shis.bosai.go.jp/api-list>

キーワード: 地震ハザード, 情報提供ツール

Keywords: Seismic hazard, information tool



Japan  
Geoscience  
Union  
Earth, Planetary and Space Sciences

時間:5 月 1 日 16:15-16:30



## 1943年鳥取地震直後に実施されたアンケートから導かれる気象庁震度分布 JMA intensity distribution of the 1943 Tottori earthquake derived from immediately conducted questionnaire survey

中村 真理子<sup>1</sup>; 香川 敬生<sup>2\*</sup>; 野口 竜也<sup>2</sup>; 西田 良平<sup>2</sup>

NAKAMURA, Mariko<sup>1</sup>; KAGAWA, Takao<sup>2\*</sup>; NOGUCHI, Tatsuya<sup>2</sup>; NISHIDA, Ryohei<sup>2</sup>

<sup>1</sup>岡山市役所, <sup>2</sup>鳥取大学大学院工学研究科

<sup>1</sup>Okayama City Office, <sup>2</sup>Tottori University

東京大学地震研究所および理学部地球物理学教室は、1943年鳥取地震、1944年東南海地震、1945年三河地震、1946年南海地震、1948年福井地震についてアンケート調査を実施し、震度集計資料が地震研究所に保存されていた(津村・他、2010)。西田・他(2013)はこのうち1943年鳥取地震の資料を整理し、改正メルカリ震度分布図を作成している。本研究では、改正メルカリ震度への換算を前提として作成されたアンケート項目のそれぞれについて現行の気象庁震度階との対応関係を求め、震度集計資料から気象庁震度階を評価することを試みた。

アンケートは主に学校に対して実施され、回答者の年代、住所、地震時に居た場所、その地形・地質情報などの基本事項に加えて、震度対応が見て取れる選択枝が設定され、回答者が感じ、見聞きした情報を回答するようになっている。これらを23項目に分類し、回答があったそれぞれの項目で改正メルカリ震度が求められ、その平均値が回答者の居た場所の震度として震度集計資料に整理されている。そこで、23項目の選択枝それぞれの記載項目について、改正メルカリ震度階に対応する気象庁震度を設定し、それらを複数の震度階でおこなうことにより、改正メルカリ震度から気象庁震度を評価する換算式とその適用範囲を求めた。実際には「立木など」に関する項目が気象庁震度階の解説に無いため除いたが、22項目について換算式を作成することができた。各回答についてそれぞれの項目で気象庁震度を算定し、その平均値から気象庁震度階を求めた。

活用することができたデータは、ほぼ糸魚川-静岡構造線以西から九州北東部までの全1935点であったが、これは現行の計測震度計の分布密度に匹敵するものである。その結果、これまで気象官署のデータのみから推定していた震度分布では把握出来なかった、横ずれ断層特有の断層延長に沿った強震動域や、遠地であっても堆積地盤で震度が大きいなど、防災資料としても有意義な震度分布図を作成することができた。当時のアンケート資料から現行気象庁震度分布を推定する方法を構築したことにより、他の4地震についても同様の解析をおこなうことで地震動の全容を把握することができるものと期待される。

謝辞 基礎データの編集作業では、放送大学鳥取センターの石賀晶仁氏にご協力頂きました。

参考文献 津村・他(2010)歴史地震, 25. 西田・他(2013)日本地震学会講演予稿集, 2013年度秋季.

キーワード: 1943年鳥取地震, アンケート調査, 気象庁震度, 改正メルカリ震度

Keywords: the 1943 Tottori earthquake, questionnaire survey, JMA intensity scale, modified Mercalli scale

## 東日本大震災に伴う死者の年齢依存性 (4) 乳幼児・高齢者の死亡率は常に高いのか?

## Mortality in the East Japan Great Earthquake (4) Infants and elderlies should always suffer heavy rate of deaths?

太田 裕<sup>1\*</sup>; 小山 真紀<sup>2</sup>

OHTA, Yutaka<sup>1\*</sup>; KOYAMA, Maki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東濃地震科研, <sup>2</sup> 京大院工学研究科

<sup>1</sup> TRIES, ADEP, <sup>2</sup> Engr. Fac. Kyoto Univ.

### 1. 前承け

今までの調査・研究を通じて、地震（津波）に伴う死者の年齢依存特性が意外に多様であることを明らかにしてきた。その一方で特筆すべきパターンが2つあることも判った。すなわち、横軸に年齢を右に向けて昇順にとり、縦軸を死亡率とした座標上でみた場合、その一つは英語大文字のU字型であり、他の一つはやはり大文字のJ字型である。特に、2011年東日本大震災においては後者、すなわちJ字型となる地域が多いことを確認した。そうだとすると、災害弱者といわれる乳幼児の死亡率が高齢者に比べて格段に低いこととなり、このままでは一寸理解し難い。そこで、本論ではこの問題に注目し、2つの異なる視点から考察した。

### 2. 平常年死亡率との対比から

年齢別の死亡率を比較する方法の一つとして、平常年の人口10万人当りの年齢別死亡率と災害等異常時のそれを比較する方法が提案されている[尾崎, 2012]。この方法の自然の発展として、『ある地域で地震等の災害に起因して発生した死者総数と同数の死者を平常時1年間に齎すような仮想人口集団を考え、この集団による年齢別死者数との対比を試みるという方法がある。この観点から、東北3県（岩手、宮城、福島県）を対象にそれぞれで相当人口と年間相当死者数を算定し、震災に伴う死者との対比を試みた。その結果、今までのように年齢別死者の存在比を単純にみるだけでは判然としなかった乳幼児とか若年層の死亡率が相当際立って見えるようになった。その一方で、J字型パターンにおいて高齢者側で目立っていた死亡率が平常時のそれよりも低いことが見出された。

### 3. 余命年数損失の視点から

この問題を今一つ違った視点で捉えてみる。いうまでもなく、人命は一様に尊い。しかし、彼らの余命年数を考えると同じ死者でも余命残存年の長い人間の死亡は、一当然有って然るべき生存の年月が剥奪されることに他ならず—乳幼児・若年者ではその損失が特に大きいことを意味する。このような視点から、余命残存年数を重み付け要素とした上で災害時死亡に伴う年齢別の余命年数の損失量をみる事が出来る。なお、ここで平均余命が問題となるが、これは0歳児のそれに他ならず、わが国では（男女を一体的にみると）80余歳である。しかし、現に100歳以上の生存者も多いことから、積算に際してはこの平均余命よりはかなり大きな値を考える方が妥当であろう。ここではこれを余命残存年数とし、(100-当該年齢) mを重み係数として採用した。ここに、べき乗指数(m)は任意量であるが、m=1~2の間で幾つか変えて試算した。その結果、程度の差はあれ、余命残存特性量をみることで、乳幼児等若年層においてその損失が際立って大きいことを確認した。

### 4. 終りに

従来のように単純に死者発生率を年齢別の存在比でみた場合、J字型の関係が得られたとしても—乳幼児の死亡率が一見低いようにみえたとしても—視点を変えてみることで乳幼児を初めとする若年層側では相当高い死亡率となっていることが、今回の試算で明瞭になった。また、今回の結果は、先に得たU字型分布についてもさらに立ち入った考察が必要なことを示唆している。

#### 文献等

- 1) 尾崎, 地震災害時および災害後の健康被害, 厚生指標, 59, 2012. (志垣; 私信).
- 2) 太田・小山, 2011年東日本大震災に伴う人間被害の激甚性 (2) 2013年春 J p GU 大会.
- 3) 太田・小山, 同上 (3), 2013年秋地震学会.
- 4) 小山他, 東北地方太平洋沖地震における浸水状況を考慮した市町村別・年齢階級別死者発生状況, 土木論文集, 64, 地震工学, 32, 2012.

キーワード: 東日本大震災, 死者, 年齢依存性, 余命特性

Keywords: East Japan Earthquake, Mortality, Age-dependency, Life Expectancy

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

坂本 正夫<sup>1\*</sup>  
SAKAMOTO, Masao<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 飯田市美術博物館  
<sup>1</sup>Iida 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い、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。東側は赤石山脈ではほとんど人が住んでいない地域であり、災害は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<sup>2</sup>; 山本 英和<sup>1\*</sup>; 齊藤 剛<sup>1</sup>

SAITO, Ryohei<sup>2</sup>; YAMAMOTO, Hidekazu<sup>1\*</sup>; SAITO, Tsuyoshi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 岩手大学工学部, <sup>2</sup> 岩手大学大学院工学研究科

<sup>1</sup> Faculty of Engineering, Iwate University, <sup>2</sup> 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 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**

CITAK, Seckin ozgur<sup>1\*</sup>; KANEDA, Yoshiyuki<sup>1</sup>; ERDIK, Mustafa<sup>2</sup>; TAKAHASHI, Narumi<sup>1</sup>; OZEL, Nurcan meral<sup>2</sup>; HORI, Takane<sup>1</sup>; HORI, Munee<sup>3</sup>; KUMAMOTO, Kunihiro<sup>4</sup>; KALAFAT, Dogan<sup>2</sup>; PINAR, Ali<sup>2</sup>; OZEL, Oguz<sup>5</sup>; YALCINER, Ahmet cevdet<sup>6</sup>; NURLU, Murat<sup>7</sup>; TAMIRCAN, Gulum<sup>2</sup>; MIRZAOGLU, Mete<sup>7</sup>; ARIYOSHI, Keisuke<sup>1</sup>  
CITAK, Seckin ozgur<sup>1\*</sup>; KANEDA, Yoshiyuki<sup>1</sup>; ERDIK, Mustafa<sup>2</sup>; TAKAHASHI, Narumi<sup>1</sup>; OZEL, Nurcan meral<sup>2</sup>; HORI, Takane<sup>1</sup>; HORI, Munee<sup>3</sup>; KUMAMOTO, Kunihiro<sup>4</sup>; KALAFAT, Dogan<sup>2</sup>; PINAR, Ali<sup>2</sup>; OZEL, Oguz<sup>5</sup>; YALCINER, Ahmet cevdet<sup>6</sup>; NURLU, Murat<sup>7</sup>; TAMIRCAN, Gulum<sup>2</sup>; MIRZAOGLU, Mete<sup>7</sup>; ARIYOSHI, Keisuke<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Japan, <sup>2</sup>Bogazici University, Kandilli Observatory and Earthquake Researches Institute (KOERI), Turkey, <sup>3</sup>University of Tokyo, Japan, <sup>4</sup>Edogawa University, Japan, <sup>5</sup>Istanbul University, Turkey, <sup>6</sup>Middle East Technical University, Turkey, <sup>7</sup>Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD), Turkey  
<sup>1</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Japan, <sup>2</sup>Bogazici University, Kandilli Observatory and Earthquake Researches Institute (KOERI), Turkey, <sup>3</sup>University of Tokyo, Japan, <sup>4</sup>Edogawa University, Japan, <sup>5</sup>Istanbul University, Turkey, <sup>6</sup>Middle East Technical University, Turkey, <sup>7</sup>Disaster 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<sup>1\*</sup>; 正木 和明<sup>2</sup>; 入倉 孝次郎<sup>3</sup>; 倉橋 奨<sup>3</sup>

WU, Hao<sup>1\*</sup>; MASAKI, Kazuaki<sup>2</sup>; IRIKURA, Kojiro<sup>3</sup>; KURAHASHI, Susumu<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup>Graduate School of Engineering, Aichi Institute of Technology, <sup>2</sup>Department of Urban Environment, Aichi Institute of Technology, <sup>3</sup>Disaster 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<sup>1\*</sup>; 鷹野 澄<sup>2</sup>

ITO, Takamori<sup>1\*</sup>; TAKANO, Kiyoshi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 慶應義塾大学, <sup>2</sup> 東京大学 大学院情報学環/地震研究所

<sup>1</sup> Keio University, <sup>2</sup> IRI&ERI, 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<sup>1\*</sup>; 源 榮 正人<sup>1</sup>; 正 木 和明<sup>2</sup>; 入 倉 孝次郎<sup>3</sup>; 久 田 嘉章<sup>4</sup>

WANG, Xin<sup>1\*</sup>; MOTOSAKA, Masato<sup>1</sup>; MASAKI, Kazuaki<sup>2</sup>; IRIKURA, Kojiro<sup>3</sup>; HISADA, Yoshiaki<sup>4</sup>

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

<sup>1</sup>International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University, <sup>2</sup>Department of Urban Environment, Aichi Institute of Technology, <sup>3</sup>Disaster Prevention Research Center, Aichi Institute of Technology, <sup>4</sup>Department 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<sup>1\*</sup>  
KUGE, Keiko<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科

<sup>1</sup>Dept. 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<sup>1\*</sup>; 大久保 慎人<sup>2</sup>

TANAKA, Torao<sup>1\*</sup>; OKUBO, Makoto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 京都大学 名誉教授, <sup>2</sup> 東濃地震科学研究所

<sup>1</sup> Kyoto University Emeritus Professor, <sup>2</sup> 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調べるため、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 の帯域では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、御嵩、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<sup>1\*</sup>; 呉 長江<sup>2</sup>; 司 宏俊<sup>3</sup>; 西條 裕介<sup>1</sup>; 焦 凝<sup>1</sup>

NODA, Akemi<sup>1\*</sup>; WU, Changjiang<sup>2</sup>; SI, Hongjun<sup>3</sup>; SAIJO, Yusuke<sup>1</sup>; JIAO, Ning<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 構造計画研究所, <sup>2</sup> 原子力安全基盤機構, <sup>3</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup>Kozo Keikaku Engineering Inc., <sup>2</sup>Japan Nuclear Energy Safety Organization, <sup>3</sup>Earthquake 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<sup>1\*</sup>; 藤原 広行<sup>1</sup>; 奥村 俊彦<sup>2</sup>; 藤川 智<sup>2</sup>  
MORIKAWA, Nobuyuki<sup>1\*</sup>; FUJIWARA, Hiroyuki<sup>1</sup>; OKUMURA, Toshihiko<sup>2</sup>; FUJIKAWA, Satoshi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所, <sup>2</sup> 清水建設株式会社

<sup>1</sup>National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, <sup>2</sup>Shimizu 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 $M_w 8.3$ 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、 $V_s=400\text{m/s}$  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)のものを利用した。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<sup>1\*</sup>; 盛川 仁<sup>2</sup>; 稲谷 昌之<sup>1</sup>; 小倉 祐美子<sup>2</sup>; 徳江 聡<sup>2</sup>; 濱崎 翔平<sup>2</sup>; ZHANG XINRUI<sup>2</sup>; Sakkravit Sripunyaphikhup<sup>2</sup>; 岩崎 政浩<sup>3</sup>; 荒木 正之<sup>4</sup>; 澤田 純男<sup>1</sup>; Zerva Aspasia<sup>5</sup>  
GOTO, Hiroyuki<sup>1\*</sup>; MORIKAWA, Hitoshi<sup>2</sup>; INATANI, Masayuki<sup>1</sup>; OGURA, Yumiko<sup>2</sup>; TOKUE, Satoshi<sup>2</sup>; HAMASAKI, Shohei<sup>2</sup>; ZHANG, Xinrui<sup>2</sup>; SAKKRAWIT, Sripunyaphikhup<sup>2</sup>; IWASAKI, Masahiro<sup>3</sup>; ARAKI, Masayuki<sup>4</sup>; SAWADA, Sumio<sup>1</sup>; ZERVA, Aspasia<sup>5</sup>

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

<sup>1</sup> Kyoto University, <sup>2</sup> Tokyo Institute of Technology, <sup>3</sup> Osaka city, <sup>4</sup> aLab Co.Ltd, <sup>5</sup> 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小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<sup>1\*</sup>

GOTO, Hiroyuki<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 京都大学防災研究所

<sup>1</sup> 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、ということを論じる。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<sup>1</sup>; 寛 楽磨<sup>1\*</sup>

ARISUE, Maho<sup>1</sup>; KAKEHI, Yasumaro<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 神戸大・理

<sup>1</sup> 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、東京大学の瀬戸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<sup>1\*</sup>; 吉本 和生<sup>1</sup>  
TAKEMURA, Shunsuke<sup>1\*</sup>; YOSHIMOTO, Kazuo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 横浜市立大学

<sup>1</sup>Yokohama 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<sup>1\*</sup>; 瀧 一 起<sup>1</sup>; 三 宅 弘 恵<sup>1</sup>  
GUO, Yujia<sup>1\*</sup>; KOKETSU, Kazuki<sup>1</sup>; MIYAKE, Hiroe<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup>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<sup>1\*</sup>; 岩田 知孝<sup>1</sup>; 浅野 公之<sup>1</sup>  
KUBO, Hisahiko<sup>1\*</sup>; IWATA, Tomotaka<sup>1</sup>; ASANO, Kimiyuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学防災研究所

<sup>1</sup>DPRI, 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 $Q_s$ 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ー 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ー Stochastic green function considering 3-D $Q_s$ structure-Predicting ground motion of the 2011 Tohoku Earthquake-

中村 亮一<sup>1\*</sup>; 植竹 富一<sup>2</sup>; 引間 和人<sup>2</sup>  
NAKAMURA, Ryoichi<sup>1\*</sup>; UETAKE, Tomiichi<sup>2</sup>; HIKIMA, Kazuhito<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東電設計株式会社, <sup>2</sup> 東京電力株式会社

<sup>1</sup>Tokyo Electric Power Services Co.,Ltd., <sup>2</sup>Tokyo 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-D $Q_s$  値モデル) と、 $Q$  値を一樣とした場合 (一樣  $Q_s$  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考慮の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-D $Q_s$  値モデルとしての  $Q_s$  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  $Q_s$  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、震源は滑りが一様なモデルを用いて、三次元減衰構造を考慮した場合 (3-D $Q_s$  値モデル) と、 $Q$  値を一樣とした場合 (一樣  $Q_s$  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 を一様に与えた。また、応力降下量についても一様に 25MPa を与えた。断層長・幅は  $400\text{km} \times 200\text{km}$  とし、走向及び傾斜角は  $200^\circ$  及び  $15^\circ$  を与え、破壊伝播速度は  $2.5\text{km/s}$  とした。まず、3D- $Q_s$  値モデルと一樣  $Q_s$  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- $Q_s$  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- $Q_s$  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  $Q_s$  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-D $Q_s$  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  $193^\circ$  及び  $10^\circ$  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,  $Q_s$ , 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,  $Q_s$ , 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<sup>1\*</sup>; 入倉 孝次郎<sup>1</sup>

KURAHASHI, Susumu<sup>1\*</sup>; IRIKURA, Kojiro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 愛知工業大学

<sup>1</sup> 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<sup>1\*</sup>; 宮腰 研<sup>1</sup>; 入倉 孝次郎<sup>2</sup>

SOMEI, Kazuhiro<sup>1\*</sup>; MIYAKOSHI, Ken<sup>1</sup>; IRIKURA, Kojiro<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 地盤研, <sup>2</sup> 愛工大

<sup>1</sup>G.R.I., <sup>2</sup>A.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,  $1225 \text{ cm/s}^2$ ,  $39 \text{ cm/s}$  (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  $12 \text{ km} \times$  傾斜  $7 \text{ km}$ ) を一辺  $1.0 \text{ km}$  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  $0.6 \text{ 秒}$  の平滑化傾斜関数で表現し, 6 つのタイムウィンドウを  $0.3 \text{ 秒}$  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  $2.4 \text{ km/s}$  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  $0.98 \text{ m}$ , 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,  $16.4 \text{ MPa}$  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 ( $M_J 6.3$ ) 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<sup>1\*</sup>

HIKIMA, Kazuhito<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東京電力株式会社

<sup>1</sup>Tokyo 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 1 G 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、その際の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  $M_w 4.0$  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抗す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, P3763, 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<sup>1\*</sup>  
SHIBA, Yoshiaki<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 電力中央研究所  
<sup>1</sup> 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