

令和元年6月12日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2018

課題番号：26282104

研究課題名(和文)海溝型巨大地震の広帯域強震動予測のための震源モデル構築に関する研究

研究課題名(英文) Study on earthquake source model of interplate earthquakes for broad-band strong ground motion prediction

研究代表者

岩田 知孝 (Iwata, Tomotaka)

京都大学・防災研究所・教授

研究者番号：80211762

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,300,000円

研究成果の概要(和文)：プレート境界で発生する巨大地震による強震動の予測は、将来の地震ハザードを適切に評価するために必要不可欠である。この高精度化のため、これまで発生した、強震記録を用いたプレート境界地震の震源モデルの分析から、広帯域強震動予測のための震源モデル構築を行った。加えて、2011年東北地方太平洋沖地震など、大規模地震の周波数別の震源特性を分析し、モデル構築の参考とした。大地震時に大規模堆積盆地等で観測される長周期地震動特性について、東北地方太平洋沖地震時の大阪平野を対象として分析を行い、モデルシミュレーションにより地震動再現を実施した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

プレート境界で発生する巨大地震による強震動の予測は、地震ハザードを適切に評価するために必要不可欠なため、その予測手法は、その時点までに得られた、発生した地震の知見、に基づいて更新されて行く必要がある。本研究で得られた広帯域強震動予測を目指した震源断層モデル構築手法は、そういった知見に基づいて構築され、実データに基づいたモデルであると言える。このモデル構築手法が適用されて地震ハザード予測の高度化に資するとともに、最新の知見を踏まえて更新されていくことが重要である。

研究成果の概要(英文)：Reliable strong ground motion prediction is a quite important issue for evaluation of seismic hazard from future large earthquakes occurring in the plate subducting area. We have constructed a prototype of earthquake source model for broad-band strong ground motion simulation based on the knowledge of characteristics of earthquake sources of past occurred earthquakes. We have also investigated period-dependent source mode of the 2011 Tohoku earthquake and the 2011 Off Ibaragi earthquake. Long-period ground motion characteristics in the Osaka basin during the 2011 Tohoku earthquake have been obtained and ground motion modeling using a characterized source model based on Asano and Iwata (2012) and a Japan Integrated Velocity Structure model (Koketsu et al., 2008) have been conducted for explaining those ground motion characteristics.

研究分野：強震動地震学

キーワード：強震動予測 2011年東北地方太平洋沖地震 長周期地震動 広帯域地震動

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

2011年東北地方太平洋沖地震の発生により、超巨大地震の震源特性を把握することが強震動予測手法の高度化には不可欠であるという認識があった。東北地方太平洋沖地震では、甚大な津波被害がクローズアップされた一方、地震動特性としては、既往の地震動予測式に比して観測強震動は大きくないことや、地震被害を及ぼす周期10秒から0.1秒の地震動生成は、津波を生じた海溝軸付近の大すべりではなく、震源域の深い領域であること、更にはその領域が宮城沖や福島～茨城沖の過去のM7クラスの震源領域に重なっていること(Asano and Iwata, 2012)といった知見が得られていた。これらの震源特性を踏まえた上で、南海トラフ地震や東北地方太平洋沖地震震源域の周辺である房総沖地震といった巨大プレート境界地震の広帯域強震動予測のための震源モデルを構築する喫緊性があった。

2. 研究の目的

地震発生が迫る南海トラフ巨大地震、2011年東北地方太平洋沖地震後、発生が懸念されている房総沖巨大地震等、プレート境界巨大地震発生時の広帯域強震動予測の高度化と信頼性向上を目指した震源モデルの確立を目指す。これまでの海溝型大～巨大地震の様々な周波数帯を用いて解析された震源断層モデルを踏まえつつ、広帯域強震動モデリングに基づく震源過程解析手法を海溝型地震に適用する。これらの知見を統合して、広帯域強震動生成の観点にたった震源モデルのスケーリング特性、破壊様式依存性、深さ依存性、地域特性等の分析に基づく、海溝型巨大地震の広帯域強震動予測のための震源モデル構築手法を提案する。

3. 研究の方法

既往の海溝型地震の様々な周期帯域の地震動等を用いた震源モデルを収集、地震規模別、周期帯域別、震源域深さ別、といった震源モデルの特徴を整理する。解析情報がないイベントに関しては、本研究において適切な解析を実施した。この特徴にもとづいて、現在の特性化震源モデルの枠組みに基づいた震源モデル構築手法を提案する。主要な海溝型大～超巨大地震に対して、周期帯別震源モデリングを行って、より広い周期帯（広帯域）の震源モデル構築に必要な情報を収集する。震源パラメータのバラツキについて検討する。これらを踏まえて、地震動被害に直結する周期帯域（周期10秒から0.1秒）広帯域強震動生成の観点にたった震源モデル構築手法を提案する。

4. 研究成果

①2011年東北地方太平洋沖地震、2011年茨城沖地震の周期帯別地震波放射特性の空間変化
先に述べたように、2011年東北地方太平洋沖地震(MJMA9.0)の震源特性としては、大津波発生と密接に関係する海溝軸付近の大すべりと、震源域のやや深い方に求められている強震動生成域の存在が指摘できる。これらの2つの領域については、遠地波形や津波観測波形を使った震源インバージョンと強震動モデリングによる強震動生成過程の推定という異なったアプローチの結果の解釈と言える。ここでは、同一の方法で、周期帯別の地震動波形を分析して、この空間的な変化が得られるかどうか、また周期帯別に連続にどのように震源像が見えるのかということを知るための解析を行った。信頼できる震源インバージョン結果を得るためには、該当周期帯で適切なグリーン関数を与えることが必要であることから、ここでは、プレート境界付近の3次元地下構造モデルを考慮した、グリーン関数を求め、そのグリーン関数（及び用いている地下構造モデル）の妥当性の検証のため、M6クラスのイベント波形の再現を実施した。これを踏まえて、周期5～100秒の帯域をいくつかの周期帯に分けて震源インバージョンを実施し、長周期域では海溝軸付近の大すべりの影響が、また破壊開始点に近い宮城沖の深部では2度の破壊が起きていて、それぞれの破壊の特徴（生成される地震動の周期特性）が異なることがわかった。また、2011年茨城沖地震(MJMA7.9)は、この帯域のなかで、長周期帯域と短周期帯域の地震波生成領域が異なることを見いだした。

②2016年4月に三重県南東沖で生じたMJMA6.1の地震は、想定東南海地震の震源域で発生したM6クラスのイベントであった。当初、プレート境界で起きた地震か、沈み込むプレート内で起きた地震かの議論があったが、余震分布の精査などによりプレート境界で起きた地震とされている。この地震の強震動生成域モデルを経験的グリーン関数法による強震動シミュレーションにより求めた。求められた強震動生成域の面積は約20km²で、応力降下量は約22MPaとなった。この面積や応力降下量値は、主として太平洋プレート沿いのプレート境界地震の解析結果と比較すると、同じ地震規模を仮定した場合に、面積がやや大きく、応力降下量は小さいことがわかった。これは、太平洋プレートとフィリピン海プレートで発生する地震の震源特性の違いを指摘している可能性がある一方、この対象地震の震源深さが太平洋プレートで発生している地震のそれよりやや浅いことも関係している可能性がある。地域性や深さ依存性の検証は、知見を積み重ねていくことでしか解決できないため、今後とも同様の分析を継続していく必要がある。

③気仙沼沖M6級繰り返しプレート境界地震の震源特性のばらつき評価

前項と同じく、将来発生する地震の強震動予測のための震源断層モデル構築には、発生した地

震の震源特性の特徴を適切に評価した上で、モデルパラメータに組み入れていく必要がある。ここでは、震源特性がどのくらいばらついているか、ということを実例を踏まえて検討した。先行研究として、我々(瀧口・他, 2011, 地震第2輯)は、1982年と2008年の茨城県沖の地震(ともにMJMA 7.0)を解析し、1982年本震と2008年本震では、初期破壊や顕著な前震の有無、震源(破壊開始点)位置など震源過程全体の特徴は異なっていたものの、主破壊に相当する強震動生成域の面積や位置、破壊の進展方向はほぼ同じで、1982年本震は2008年本震に比べて強震動生成域の応力降下量が1.5倍大きいという知見を得た。ここでは、震源特性のばらつきを実証できる可能性のあるイベント列として、気仙沼沖で約15年の平均繰り返し間隔で発生するM6級のプレート境界地震を例に、直近4回の地震の強震動生成域(SMGA)を推定した。その結果、1973年、1986年、2002年の地震は1つのSMGA、2015年の地震は2つのSMGAで観測強震記録の特徴を説明できた。2015年のSMGA1及び1973年、1986年、2002年の2つのうち1つのSMGAはほぼ同一の大きさをもつSMGAの活動と考えられ、その応力降下量のばらつきは、最小値に対し約1.6倍の範囲に収まっている知見を得た。

④2015年ネパール・ゴルカ地震の震源時間関数と震源近傍強震動

地震被害に直結する地震動生成に関して、同じ帯域の強震記録を用いた解析から得られた震源モデル像は重要であるが、こういった解析ができる地域、充実した強震観測網が存在する地域は世界でも限られている。一方、巨大地震が発生した時には、世界の地震観測網を用いた遠地記録解析がルーチン的に行われており、それによる震源時間関数や有限断層モデルが提案されている。この遠地記録から得られている情報をもとに、震源近傍での強震動レベルを推定することが可能かどうかという点について、2015年ネパール・ゴルカ地震を例にとって検討した。ゴルカ地震では、カトマンズをはじめとして広く地震、地盤災害を生じたが、いくつかの観測点で得られた強震記録は地震動予測式より小さかった。ゴルカ地震と同規模のイベントの震源時間関数の継続時間や周期特性を調べると、ゴルカ地震のそれは他のイベントのそれに比して明らかに短周期生成が弱かったことがわかった。なお、ここで述べる短周期とは周期数秒の帯域で、一般構造物に被害を引き起こす周期帯域よりは長周期であることに注意する必要がある、この間を考慮した検討が今後の課題である。

⑤長周期地震動に関する研究

浅い巨大地震が発生した時には、大規模堆積平野等で長周期地震動が発達して地震被害を及ぼす場合がある。2011年東北地方太平洋沖地震においても、震源からは約700km、震源域からも約500km以上離れた大阪堆積盆地の大阪湾岸で長周期地震動が観測された。大阪堆積盆地内外の各機関の地震記録を収集し、その地震動特性を把握するとともに、この生成要因を突き止めるため、震源域から大阪堆積盆地に至る地震動シミュレーションを実施した。震源モデルはAsano and Iwata (2012)のSMGAモデルを簡略化し、地下構造モデルには全国一次地下構造モデルをもとにしたものを利用した。湾岸地域の地震動をよく再現することがわかった。

⑥プレート境界型地震の不均質SMGAモデル

これまで発生したM6~9のプレート境界地震のSMGAモデルをもとに、内部に不均質性をもつSMGAモデルの構築を行った。解析したイベントの地震規模が小さいほど、応力降下量にバラツキがあることから、それが再現できるような不均質SMGAモデルをフラクタル空間分布的に作成し、その特性が観測事実の応力降下量分布等を再現できることを確認した上で、平均的な震源特性として震源スペクトルが ω^2 乗モデルに一致することなどを条件として、不均質SMGAモデル構築の手法論を提案した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計7件)

- 1) 浅野公之 (2019), 気仙沼沖 M6 級繰り返しプレート境界地震の震源特性のばらつき評価, 日本地震工学会論文集, 印刷中.
- 2) Asano, K. (2018), Source Modeling of an MW 5.9 Earthquake in the Nankai Trough, Southwest Japan, using Offshore and Onshore Strong Motion Waveform Records, Bull. Seismol. Soc. Am., 108, 1231-1239, doi:10.1785/0120170357.
- 3) Matsushima, S., H. Kosaka, and H. Kawase (2017), Directionally dependent horizontal-to-vertical spectral ratios of microtremors at Onahama, Fukushima, Japan, Earth, Planets and Space, 69, 96
- 4) Iwata, T., H. Kubo, K. Asano, K. Sato, and S. Aoi (2016), Long-period Ground Motion Characteristics and Simulations in the Osaka Basin during the 2011 Great Tohoku Earthquake, Proc. 5th IASPEI/IAEE Int. Symp. on the Effect of Surface Geology on Seismic Motion, Taipei, paper I101A.
- 5) 三宅弘恵・浅野公之・瀬戸一樹・岩田知孝 (2016), 2011年東北地方太平洋沖地震の強震記録を用いた震源モデルの概要, 日本地震工学会論文集, 16(4), 12-21.
- 6) Kubo, H., K. Asano, T. Iwata, and S. Aoi (2016), Development of fully Bayesian multiple-time-window source inversion, Geophys. J. Int., 204, 1601-1619.

7) 関口春子・三宅弘恵(2015), 震源過程解析と強震動予測震源モデルの進展, 第43回地盤震動シンポジウム論文集, 83-90

[学会発表] (計 10 件)

- 1) Asano, K., Source Model of the MJMA 6.5 Plate-Boundary Earthquake at the Nankai Trough, Southwest Japan, on April 1, 2016, Based on Strong Motion Waveform Modeling, AGU 2017 Fall Meeting, S41B-0758, December 2017.
- 2) 関口春子・浅野公之・岩田知孝, プレート境界型地震の不均質 SMGA モデル, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, SCG70-P06, May 2017.
- 3) Asano, K., Analyzing Strong Motion Generation Area of the MJMA 6.5 Earthquake Occurring Offshore the Kii Peninsula on April 1, 2016, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, SCG70-03, May 2017.
- 4) 浅野公之, 海溝型繰り返し地震の震源特性のばらつきの評価に向けて～気仙沼沖の繰り返し地震を例に～, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, SSS25-01, 2016 年 5 月.
- 5) Iwata, T., Source Time Function and Near Source Ground Motion of the 2015 Gorkha, Nepal, Earthquake, AGU 2015 Fall Meeting, S43D-2830, December 2015.
- 6) Kubo, H., T. Iwata, K. Asano, and S. Aoi, Period-dependent seismic radiation for the 2011 Tohoku-oki earthquake estimated by multi period-band source modeling, IUGG General Assembly 2015, S05p-373, June 2015.
- 7) 久保久彦・浅野公之・岩田知孝・青井真, 東北日本における巨大プレート境界型地震の地震波放射特性の空間変化-2011 年東北沖地震及び 2011 年茨城県沖地震の例から-, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, SSS30-18, 2015 年 5 月.
- 8) Kubo, H., K. Asano, T. Iwata, and S. Aoi, Period-dependent source rupture behavior of the 2011 Tohoku earthquake estimated by multi period-band Bayesian waveform inversion, AGU 2014 Fall Meeting, S33B-4508, December 2014.
- 9) Iwata, T., H. Kubo, K. Asano, K. Sato and S. Aoi, Long-period Ground Motion Simulation in the Osaka Basin during the 2011 Great Tohoku Earthquake, AGU 2014 Fall Meeting, S41E-03, December 2014.
- 10) Asano, K. and T. Iwata, Extension of Characterized Source Model for Broadband Strong Ground Motion Simulations (0.1-50s) of M9 Earthquake, AGU 2014 Fall Meeting, S31C-4412, December 2014.

[図書] (計 1 件)

Asano, K., H. Sekiguchi, T. Iwata, W. Suzuki, S. Aoi, and T. Kunugi (2014). Source Process of the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, H. Kawase (ed.), in Studies on the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Natural Disaster Science and Mitigation Engineering: DPRI reports, H. Kawase (Editor), Springer, Japan, 17-36. (分担執筆)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

<http://sms.dpri.kyoto-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：関口春子

ローマ字氏名：SEKIGUCHI, Haruko

所属研究機関名：京都大学

部局名：防災研究所

職名：准教授

研究者番号 (8桁)：20357320

研究分担者氏名：松島信一

ローマ字氏名：MATSUSHIMA, Shin' ichi

所属研究機関名：京都大学

部局名：防災研究所

職名：教授

研究者番号 (8桁)：30393565

研究分担者氏名：浅野公之

ローマ字氏名：ASANO, Kimiyuki

所属研究機関名：京都大学

部局名：防災研究所

職名：准教授

研究者番号 (8桁)：80452324

研究分担者氏名：鈴木亘

ローマ字氏名：SUZUKI, Wataru

所属研究機関名：国立研究開発法人防災科学技術研究所

部局名：地震津波火山ネットワークセンター

職名：主任研究員

研究者番号 (8桁)：90509366

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。