

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月21日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H03144

研究課題名(和文) 動力的震源モデル及び海底地形を考慮した海溝型地震の強震動予測と建物被害想定

研究課題名(英文) Strong ground motion prediction and building damage estimation for huge subduction zone earthquake considering kinetic seismic source model and submarine topography

研究代表者

川辺 秀憲 (Kawabe, Hidenori)

大阪大学・工学研究科 准教授

研究者番号：00346066

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、動力的アプローチによる震源のモデル化を計算に取り入れるために、スペクトル要素法と3次元差分法のハイブリッド手法を開発した。次に、海溝型巨大地震の震源のモデル化についての検討として、南海トラフで発生する地震について、動力的震源モデルと、特性化震源モデルの2つのモデルを用いて大阪平野の地震動を計算し、最大速度振幅で最大で3割程度の差が出ることを確認した。次に、南海トラフ地震時の大阪平野の建物の応答評価を実施した。その結果、鉄骨造の40階建てのモデルでは、ゆれの小さい地域と比べて、ゆれの大きな地域では、最大変位で5倍程度、最大層間変形角で6倍程度となるという結果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発したスペクトル要素法と3次元差分法のハイブリッド手法により、今後の震源近傍の調査により、震源を物理的なパラメータで設定できるようになった際に、動力的震源モデルによる、より精度の高い強震動予測や被害予測に資することが期待できる。

本研究で実施した海底地形や地表地形の地震動に与える影響の評価は、今後の南海トラフの強震動予測に、海底地形や地表地形を取り入れる必要性を示唆する結果となった。

本研究で実施した大阪平野における南海トラフ地震時の長周期構造物の応答性状の予測は、今後、大阪平野内で高層建築を建設する際に、地震に対する要求性能を設定する一つの資料となる事が期待できる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed a hybrid method of spectral element method and three-dimensional difference method to adopt the kinematic and dynamic source modeling for the simulation of strong ground motion. Next, as a study on modeling of subduction zone earthquakes, we calculated the strong ground motion of the Osaka basin using two models, a dynamic source model and a characterized source model, for the Nankai Trough earthquakes. As a result, the maximum velocity amplitudes in Osaka basin had difference of about 30% at the maximum. Next, we evaluated the response of buildings in the Osaka basin during the Nankai Trough earthquake. As a result, in the case of a 40-story model of steel structure, the maximum displacement is about 5 times and the maximum story drift angle is about 6 times in the large ground motion area compared to the small ground motion area.

研究分野：地震工学

キーワード：強震動予測 動力学 南海トラフ 海溝型地震 海底地形 差分法

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

今世紀前半での発生が危惧されている南海トラフを震源とした東海・東南海・南海地震の発生時には、大阪から関東平野を中心に大都市圏に多数存在する建築物や橋梁などの構造物が海溝型巨大地震による強震動を経験することとなる。これらの構造物は都市の市民生活、社会経済活動を支える社会資本であり、南海トラフを震源とした海溝型巨大地震時の構造物の被害の把握は災害対応戦略の策定に必要不可欠なことである。よって、構造物の被害の把握のためには、将来発生する海溝型巨大地震の強震動予測を高精度に行う必要がある。

一方、これまで強震動予測の際に想定されてきた海溝型地震の震源モデルは、震源となるプレート境界の破壊について多少のランダム性は考慮するものの、震源（破壊開始点）から同心円状に広がることを想定としているものがほとんどであった。しかしながら、2011年東北地方太平洋沖地震では、宮城県沖のプレート境界で2回大きな地震動が放出されたことが観測記録からもわかっており、震源の破壊が必ずしも破壊開始点から同心円状に広がるのではなく、近い場所で時間をかけて複数回の大きな地震動を放出することもあるということが分かった。また、既往の研究^{1),2)}などから構造物に影響の大きい周期（周期0.1~10秒程度）の地震動とより長周期の地震動の震源域が異なることも明らかになってきた。よって、今後の強震動予測では、震源のより複雑な破壊過程も考慮した震源モデルを想定する必要がある。

本研究開始当初、文部科学省地震調査推進本部や内閣府などで公開されていた強震動予測結果には、海底地形、海水、及び陸域の地形は考慮されておらず、平らな地表を仮定して地下構造モデルを設定した強震動予測の結果となっている。しかしながら2008年5月12日の中国四川省の地震の強震動シミュレーション³⁾などで、表層地形のモデル化の必要性も指摘されており、強震動予測の高精度化のためには、海底地形、海水、及び陸域の地形の地震動への影響を明らかにし、地下構造モデルに取り入れる必要がある。

<引用文献>

- 1) Kawabe H., K. Kamae and H. Uebayashi: Source Modeling and Strong Ground Motion Simulation of the 2011 Tohoku Earthquake, 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal, 2012, Paper ID:4506.
- 2) Wataru Suzuki, Shin Aoi, Haruko Sekiguchi and Takashi Kunugi: Rupture process of the 2011 Tohoku-Oki mega-thrust earthquake (M9.0) inverted from strong-motion data, Geophys. Res. Lett., 38, 2011, L00G16, doi:10.1029/2011GL049136.
- 3) ZHANG Wei, SHEN Yang and CHEN XiaoFei: Numerical simulation of strong ground motion for the Ms8.0 Wenchuan earthquake of 12 May 2008, Science in China Series D: Earth Sciences, vol. 51, No. 12, 1673-1682, 2008.

2. 研究の目的

本研究では、将来の南海トラフにおける海溝型巨大地震（東海地震、東南海地震、南海地震の単独及び連動型の地震）の強震動予測の高精度化を図ることを目的としている。

具体的には、これまで強震動予測において用いられてきた震源のモデル化手法に加え、動力学的な震源モデル化手法についても検討し、震源のモデル化手法の違いによる海溝型巨大地震の強震動予測結果の違いを評価することを1つ目の目的としている。

次に、これまでの強震動予測ではあまり考慮されることのなかった海底地形、海水、及び陸域の表層地形の地震動への影響についての検討を実施し、強震動予測の高精度化を図ることを二つ目の目的としている。

最後に、強震動の予測結果を用いて、建物の被害想定を行い、震源のモデル化の違い、海底地形や陸域の表層地形のモデル化が被害想定に及ぼす影響を評価することを三つ目の目的としている。

3. 研究の方法

従来の震源のモデル化手法に加え、動力学的アプローチによるモデル化手法を海溝型巨大地震の震源のモデル化に取り入れ、最適な震源のモデル化手法を提案し、提案した手法を南海トラフにおける海溝型地震の震源のモデル化に適用し、震源の破壊過程などが予測結果に与える影響を評価する。

次に、海底地形など地下構造の3次元的不整形性及び海水が地震動に与える影響を評価し、得られた知見を基に最適な地下構造モデルを提案し、そのモデルを用いて、将来の南海トラフにおける海溝型巨大地震の強震動予測を行い、大阪平野や濃尾平野などの堆積盆地及び震源近傍における地震動の特性を把握する。また、地震動の予測結果を用いて、大阪平野において建物の被害想定を行い、震源や地下構造のモデル化が被害想定に与える影響を評価する。

本研究では地震動の計算には主として地下構造の3次元の影響を考慮することのできる3次元差分法を用いる。3次元差分法による計算は、地下構造モデルの精度などから周期2秒以上を対象とすることを目標とするが、地下構造モデルの高精度化等により対象周期が3秒以上となる地域もある。

本研究では基本的には地震調査研究推進本部の地下構造モデルを用いるが、このモデルは約1km間隔のメッシュデータであり強震動予測を行うにはメッシュ間隔が大きすぎるため、より

細かい地下構造モデルがある地域は精度を確認しながらそのモデルを上記のモデルに取り入れ、地下構造モデルを作成する。

構造物の被害想定について、大阪平野を対象地域とし、上記の対象周期を考慮し、超高層建物の地震時の挙動について検討し、被害想定に資するデータの蓄積を図る。

4. 研究成果

本研究では、動力的アプローチによる震源のモデル化を計算に取り入れるために、スペクトル要素法と3次元差分法のハイブリッド手法を開発した。本手法により、強震動計算に広く使用されている差分法に、従来の経験的な震源モデルの設定以外に、動力的アプローチによる震源モデルを設定できるようになった。また、本手法は、今後の震源近傍の調査により、震源を物理的なパラメータで設定できるようになった際に、動力的震源モデルによる、より精度の高い強震動予測や被害予測に資することが期待できる。

海溝型巨大地震の震源のモデル化についての検討として、南海トラフで発生する地震について、動力的アプローチによる震源モデルと、特性化震源モデルの2つのモデルを用いて大阪平野の地震動を計算し、最大速度振幅で最大で3割程度の差が出ることを確認した。しかしながら、本研究では1枚の平面で震源をモデル化している点や、両モデルのパラメータの設定について、同一のパラメータのみではモデルが設定できないなどの問題があり、それらについては今後の検討していく予定である。

海底地形、海水、及び陸域の地形の地震動への影響の評価として、実際の南海トラフ周辺の海底地形などの地下構造の3次元的不整形性及び海水をモデル化し、地震動に与える影響の評価を試みたが、差分法で用いる格子の間隔によっては、波が発散する問題が生じた。波の発散を防ぐ有効な方法を検討したが、有効な手段が見出せなかった。この点については、今後の課題としたい。

南海トラフ地震時の大阪平野の建物の応答評価として、鉄骨造の40階建てのモデルを用いて、大阪平野内の建物の応答を評価した。その結果、ゆれの小さい地域と比べて、ゆれの大きな地域では、最大変位で5倍程度、最大層間変形角で6倍程度となるという結果を得た。本検討結果は、今後、大阪平野内で高層建築を建設する際に、地震に対する要求性能を設定する一つの資料となる事が期待できる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計1件)

Hao Wu, Kazuaki Masaki, Kojiro Irikura and Francisco José Sánchez-Sesma : Application of a simplified calculation for full-wave microtremor H/V spectral ratio based on the diffuse field approximation to identify underground velocity structures, Earth, Planets and Space, 査読有, 2017. DOI 10.1186/s40623-017-0746-8.

[学会発表](計13件)

片山雄貴, 川辺秀憲, 西野僚一 : 2011年東北地方太平洋沖地震の震源モデルの改良, 2018年日本地震工学シンポジウム

津田健一, 川辺秀憲 : 物理モデルに基づく断層極近傍での地震動シミュレーション, 平成29年度 京都大学防災研究所 拠点研究(一般推進研究)研究集会, 「活断層で発生する大地震による地表地震断層近傍地域の強震動予測と地震被害想定の高制度化に関する研究集会」, 2018.

Tsuda, K., and H. Kawabe : Ground Motion Simulation of the Near-Fault Motions in Consideration of the propagation of the dynamic rupture, 10th ACES International Workshop, Awaji Island, 2018.

津田健一, 川辺秀憲 : 動力学モデルに基づく断層近傍地震動シミュレーション, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), B-2, pp.263-264, 2018.9.

西野僚一, 川辺秀憲, 宮本裕司 : 2011年東北地方太平洋沖地震(M9.0)の震源モデルの改良, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), B-2, pp.261-262, 2018.9.

津田健一, 川辺秀憲 : 物理モデルに基づく断層近傍の地震動シミュレーション, 断層帯近傍における地震動評価に関するシンポジウム(主催:土木学会・地震工学委員会・断層帯近傍における地震動メカニズム小委員会), 2017/11/15.

川辺秀憲, 小松健太 : 益城町における平成28年熊本地震の強震動評価 その1 2次元地下構造モデルを用いた検討, 日本地震学会講演予稿集, 2017年度秋季大会, S15-03, 2017
小松健太, 田中紳太郎, 川辺秀憲, 宮本裕司 : 平成28年熊本地震における益城町の表層地形を考慮した地震動評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集(中国), B-2, pp.261-262, 2017.9.

Kawabe H., U. Miyamoto and S. Tanaka: Long period ground motion prediction in the Osaka basin for future Nankai Trough Earthquake, 16th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago, Chili, Paper ID: 1555, 2017.

Kojiro Irikura and Susumu Kurahashi: Broadband ground motion simulations of mega-thrust subduction earthquakes based on multi-scale heterogeneous-source model,

16th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago Chile, Paper ID: 3019, 2017.

入倉孝次郎・宮腰研・吉田邦一・釜江克宏：日本国内の内陸地殻内地震の震源パラメータのスケーリング則の検証—2016年熊本地震（Mj7.3）への適用—、日本地震学会2016年度秋季大会、10月5日~7日、2016

川辺秀憲，田中紳太郎，宮本裕司：大阪平野における長周期地震動の特性（その1）観測記録の分析，日本建築学会大会学術講演梗概集（九州），B-2，pp.1237-1238 2016 8 26.

田中紳太郎，川辺秀憲，宮本裕司：大阪平野における長周期地震動の特性（その2）南海トラフにおける海溝型地震の長周期地震動予測，日本建築学会大会学術講演梗概集（九州），B-2，pp.1239-1240 2016 8 26.

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：宮本 裕司

ローマ字氏名：MIYAMOTO, yuji

所属研究機関名：大阪大学

部局名：大学院工学研究科

職名：教授

研究者番号（8桁）：50416856

研究分担者氏名：入倉 孝次郎

ローマ字氏名：IRIKURA, kojiro

所属研究機関名：愛知工業大学

部局名：工学部

職名：教授

研究者番号（8桁）：10027253

研究分担者氏名：津田 健一

ローマ字氏名：TSUDA, kenichi

所属研究機関名：清水建設株式会社技術研究所

部局名：その他部局等

職名：研究員

研究者番号（8桁）：60470324

研究分担者氏名：倉橋 奨

ローマ字氏名：KURAHASHI, susumu

所属研究機関名：愛知工業大学

部局名：工学部

職名：准教授

研究者番号（8桁）：60510899

(2)研究協力者（2016年度）

研究協力者氏名：呉 浩

ローマ字氏名：WU, hao

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。