

令和 6 年 6 月 4 日現在

機関番号：14301
研究種目：若手研究
研究期間：2021～2023
課題番号：21K14388
研究課題名（和文）海溝型巨大地震予測のための震源の短周期生成プロセスの解明とその検証に関する研究

研究課題名（英文）Study on the elucidation and verification of the short-period ground motion generation process of sources for prediction of ground motions from mega-thrust earthquakes

研究代表者
伊藤 恵理（Ito, Eri）
京都大学・防災研究所・特定助教

研究者番号：70826726
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、将来の海溝型巨大地震の被害軽減のため、過去の地震の断層面上の建物被害に直結する地震波を出す領域、短周期地震動生成域の特性を推定するものである。その手法として、観測地震波のない昭和以前の大規模な海溝型巨大地震に対し、観測地震波の代わりに、文献等で得られる観測建物倒壊率と、本研究で計算する建物倒壊率を合わせこむことで、短周期地震動生成域を推定することを提案した。その手法を1944年南海地震に適用し、その短周期地震動生成域を推定した。1923年関東地震に関しては大被害域で地盤の建物被害に影響する特性、サイト増幅特性を詳細に推定し、観測建物倒壊率との相関を把握した上で、震源モデルの構築を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、1944年南海地震の短周期地震動生成域が陸域の深い部分に存在することが分かった。これは東北地方太平洋沖地震と同じ傾向であり、この知見は今後海溝型巨大地震の短周期地震動生成域の特性を推定する際の一情報となり得る。また、この南海地震が仮に再来した場合に、どんな地震波が現在の構造物を揺らすことになるのかが把握された。その結果を用いれば、現在の耐震性能を有する構造物の被害推定について、これまで中央防災会議などで予測震度を用いて推計されてきた経験的評価よりも、高精度な予測結果を今後提供することが可能になる。

研究成果の概要（英文）：This study estimates the characteristics of strong ground motion generation areas (SMGAs) of earthquakes that generate seismic waves directly related to building damage, in order to mitigate damage from future megathrust earthquakes. For older earthquakes without observed seismic waves, we proposed to estimate the SMGAs by comparing the observed building collapse ratio obtained from documents and the building collapse ratio calculated in this study, instead of the observed and calculated seismic waves. For the 1923 Kanto earthquake, we estimated in detail the site amplification factors of the ground in the severely damaged area, which affects the building damage, and correlated them with the observed building collapse ratio, and then constructed a source model.

研究分野：地震工学

キーワード：短周期地震動生成域 不均質震源モデル サイト増幅特性 建物被害評価モデル 観測建物倒壊率 1944年南海地震 1923年関東地震

1. 研究開始当初の背景

1995年の兵庫県南部地震を以て、西南日本は活動期に入ったといわれ、南海トラフ沿いプレート境界地震、相模トラフ沿いプレート境界地震はいつ発生しても不思議でない。こうした地震による被害を可能な限り軽減するためには、事前に高精度に発生被害のレベルを予測し、それに対する適切な対策を講じる必要がある。

海溝型巨大地震の強震動予測と被害予測に関しては、2011年東北地方太平洋沖地震の発生以降、M9クラスの超大規模地震のシナリオを用いた地震動・津波被害予測が中央防災会議により公表されている。しかしこれらの強震動予測には、2011年の東北地方太平洋沖地震で明らかになった震源での短周期地震動生成域(以下短周期生成域)の分布・断層面上の破壊伝播の仕方(両者を合わせて短周期生成過程)に関する最新の知見が反映されていない。

適切な強震動予測のためには、震源特性、伝播経路特性、地盤増幅特性(以下サイト増幅特性)という強震動の3特性を適切に評価することが重要であるが、昭和以前に発生した海溝型巨大地震に関しては、周期が数秒~100秒の長周期地震動生成域(長周期生成域)に関しては地殻変動・津波・遠地での記録等からある程度解明されている一方で、短周期生成域に関しては十分に検証されてこなかった。

2011年東北地方太平洋沖地震により、短周期生成域は沿岸域にあり、その応力降下量は平均値の5倍以上に達することが解明されたが、将来発生する関東地震、東南海、南海地震においても同様に短周期生成域が沿岸域にあるとすると、甚大な被害が想定されるため、短周期生成域の場所・サイズ・応力降下量を含む短周期生成過程を把握することは喫緊の課題であり、これが本研究を開始する動機となった。

2. 研究の目的

上述した背景を踏まえ、過去に遡って巨大海溝型地震の短周期生成域の性質を解明しようにも震源近傍での加速度波形は残されておらず、東北地方太平洋沖地震と同様の加速度波形を用いた分析をすることは不可能である。幸い大正から昭和に発生した海溝型巨大地震については文献等で詳細な建物被害記録が残されており、それを活用すれば短周期生成域の場所・サイズとその応力降下量をかなりの精度でもって推定することが可能と考えられる。

したがって、本研究の目的は、観測建物倒壊率を用いて、過去の海溝型巨大地震の震源での短周期生成過程を解明し、今後の海溝型巨大地震の被害低減に向けた対策に資する情報を提示することである。

3. 研究の方法

本研究ではまず、設定する応力降下量を周辺領域よりも大きくした短周期生成域の配置、発震点の位置、応力降下量の異なる複数の不均質震源モデルを構築した。そして、過去の巨大地震の被災地における、高精度な強震動予測のために重要なサイト増幅特性を、新手法により定量的に評価した。また、過去の大地震による定量的な建物被害評価のため、未だ構築されていない1930年以前の時代に対応する建物被害評価モデルを構築した。そのうえで、サイト増幅特性を用いて得られる再現強震動と建物被害評価モデルを用いて、不均質震源モデルごとに建物倒壊率を計算し、観測倒壊率と比較することで、最も観測事実を再現する不均質震源モデルを選定した。

4. 研究成果

本研究の主な成果としては、(1)1944年東南海地震の不均質震源モデルの選定、(2)1923年関東地震の大被害地域における詳細なサイト増幅特性評価、が挙げられる。

(1)1944年東南海地震の不均質震源モデルの選定

1944年東南海地震に関しては、内閣府(2015)の強震動生成域を参考に、複数の不均質震源モデルを作成した。建物被害に影響を及ぼすサイト増幅特性としては、まず本課題で我々が提案するサイト増幅特性評価手法との今後の比較を見据えて、既に構築されている浅部・深部統合地盤構造モデルから得られるS波の理論サイト増幅特性に対して、経験的なサイト増幅特性に基づき補正する係数を適用した修正理論サイト増幅特性を用いた。そして、過去に収集された古民家の微動データから構築した建物被害評価モデルを用いて、地震発生時の建築年代別の推定建物残存率も考慮して建物被害推定を行い、建物被害記録資料にある観測倒壊率を最も再現する震

源モデルを選定した。選定した震源モデルから得られる建物倒壊率は、大被害域の数地点で過小評価となったものの、概ね調和的な結果が得られた（図1）。

そして、上述した手法にて計算建物倒壊率が過小評価となったのは、強震動計算地点と実際の集落の中心直下の地盤構造が異なっていたことが原因の一つであると推察し、微動を用いてより高精度に観測事実を再現するサイト増幅特性を求めた。具体的には、国土地理院発行の地形図から推定した当時の集落中心地点において微動観測を行い、微動の水平上下スペクトル比 MHVR を計算した。そうして得た MHVR と Kawase et al. (2018) の EMR 法により大被害地域の地点で擬似地震動水平上下スペクトル比 pEHVR を求め、それに Ito et al. (2020) の VACF 法を適用することで各地点における擬似サイト増幅特性 pHSAF を求めた。このサイト増幅特性を用いて強震動を計算し、建物被害評価モデルに適用して建物倒壊率を計算したところ、全体的に改善は見られたものの、大被害域においては依然過小評価傾向となった。いずれのサイト増幅特性評価手法から得られる計算倒壊率も過小評価となったことから、その原因として非線形性評価手法に関して再検討する必要があることが分かり、これは今後の課題である。

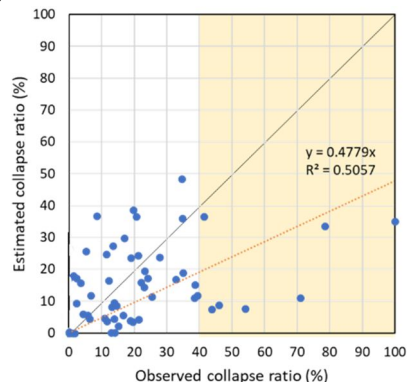


図1 最も観測事実を再現する震源モデルを用いた場合の観測倒壊率（横軸）と計算倒壊率（縦軸）の比較

なお、過小評価に対する検討としては、上記のサイト増幅特性の再評価の他、破壊のディレクティビティ効果を考慮して要素地震の位相をランダム位相から同一位相への変更、そして建物被害評価モデルで算出される大破以上率を倒壊率に変換する変換係数の再構築が挙げられる。これら過小評価に対する検討事項から得られた知見は、今後同手法で他の地震の短周期生成域を推定する際にも念頭におくべき事項であると言える。

(2)1923 年関東地震の大被害地域における詳細なサイト増幅特性評価

1923 年関東地震については、建物被害に関する資料を収集し、大被害地域において強震動計算地点を選定し、微動観測を行った。計算した微動の水平上下比 MHVR に EMR 法を適用し擬似地震動水平上下動比 pEHVR を求めた。それに上下動補正係数 VACF を乗じることで擬似サイト増幅特性 pHSAF を求めた。多くの地点で、pHSAF の一次ピーク振動数は建物の大被害に直結する 0.5 ~ 2Hz の間にあることが分かった（図2）。また、建物倒壊率と 0.5 ~ 2.0Hz における最大振幅の関係性を確認した（図3）。その結果、20 地点では 0.5 ~ 2.0Hz での振幅が 10 を超えていた一方、最大振幅が大きくなって、建物被害が大きかった地点も数地点あり、このような地点では、サイト増幅特性だけではなく震源の影響を建物被害の要因として考える必要があることが示唆された。そして、上記で得られたサイト増幅特性が大きくなって建物被害が大きかった地点の位置関係を拘束条件として短周期生成域を配置したモデルの複数の構築を試みた。

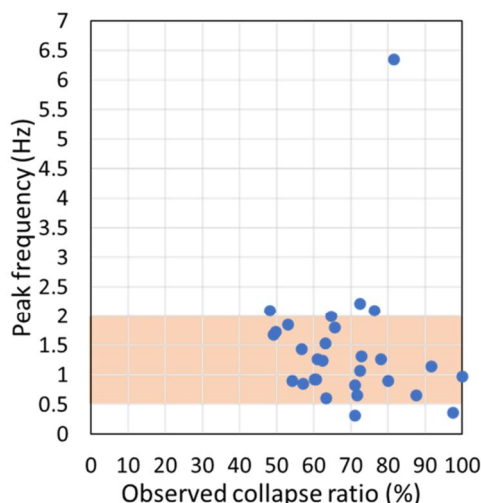


図2 観測倒壊率（横軸）とpHSAFの一次ピーク振動数（縦軸）の関係

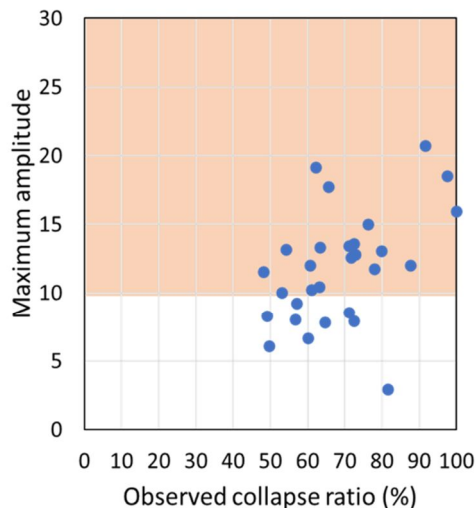


図3 観測倒壊率（横軸）とpHSAFの0.5~2.0Hzにおける最大振幅（縦軸）の関係

なお、震源における短周期生成域が東北地方太平洋沖地震と同様に陸側に配置されているのか異なるかという、当初設定した学問的問いに対しては、東南海地震で得られた最も観測事実を再現するモデルでは同じく陸側深くに配置された結果となった。今後より多くの地震に本スキームを適用することで、掲げた問いに対しての答えが出ることが期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ito Eri, Nakano Kenichi, Sekiguchi Haruko, Nagashima Fumiaki, Kawase Hiroshi	4. 巻 75
2. 論文標題 Strong-motion simulation for the 1944 Tonankai earthquake based on the statistical green's function method and stochastic representation of complex source process	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40623-023-01847-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 伊藤恵理、仲野健一、関口春子、川瀬博	4. 巻 -
2. 論文標題 木造倒壊率に基づく1944年東南海地震の不均質震源像の推定	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 月刊地球	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Eri ITO, Kenichi NAKANO and Hiroshi KAWASE
2. 発表標題 Strong-motion simulation of the 1944 Tonankai earthquake along the Philippine Sea Plate based on the damage ratios of wooden houses with in-situ measurements of microtremors at the population centers of heavily-damaged villages and towns
3. 学会等名 2023 Seismological Society of America Annual Meeting（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 伊藤恵理・長嶋史明・孫紀凱・川瀬博
2. 発表標題 1923年関東地震の大被害地域におけるサイト増幅特性の評価
3. 学会等名 2023年度日本建築学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 伊藤恵理・長嶋史明・孫紀凱・王 自謙・川瀬博
2. 発表標題 1923年関東地震の大被害地域における微動観測データを用いたサイト増幅特性の評価
3. 学会等名 第16回日本地震工学シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Eri ITO, Fumiaki NAGASHIMA, Jikai SUN, Ziqian WANG and Hiroshi KAWASE
2. 発表標題 Evaluation of the site amplification factors on the severely damaged sites during the 1923 Kanto earthquake for delineating the complex source process
3. 学会等名 2023 Seismological Society of America Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 伊藤恵理, 長嶋史明, 孫紀凱, 川瀬博
2. 発表標題 1944年東南海地震における 大被害地域のサイト増幅特性の再評価
3. 学会等名 2022年日本建築学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤恵理, 仲野健一, 関口春子, 川瀬博
2. 発表標題 1944年東南海地震の観測被害率の再現による不均質震源モデルの構築
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤恵理, 仲野健一, 関口春子, 川瀬博
2. 発表標題 1944年東南海地震の木造倒壊率に基づく不均質震源像の推定
3. 学会等名 日本地震学会大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関