

令和 3 年 6 月 29 日現在

機関番号：82102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K13000

研究課題名（和文）シミュレーションと観測記録に基づく新たな広帯域地震動予測手法の開発

研究課題名（英文）Development of a new method for broadband ground-motion prediction based on simulations and observed records

研究代表者

岩城 麻子 (Iwaki, Asako)

国立研究開発法人防災科学技術研究所・マルチハザードリスク評価研究部門・特別研究員

研究者番号：30770309

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：強震動予測において、理論的な地震波伝播シミュレーションでは震源モデルと地下構造モデルの解像度に対応して適応周期帯に下限があるため、概ね周期1秒より短周期側では異なる手法、すなわち統計的・経験的な手法がとられることも多い。研究代表者らは、長周期と短周期の地震動特性の経験的な関係性に基づいて長周期帯域の理論計算波形が与えられた時の広帯域地震動を予測する手法を提案している。本研究では、この手法について、主に関東地域を対象として使用する地震タイプ別の地震動の特徴や詳細な地盤構造モデルを活用してより実用的な手法の適用方法を示し、その適用性を検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で検討した広帯域地震動波形合成手法は、従来の手法における長周期帯域と短周期帯域の予測手法の違いによる不整合を解消し、震源モデルや地下構造モデルに基づく理論的アプローチによる長周期帯域の情報と観測記録から得られる経験的な地震動特性を生かした実用的な手法である。関東地域における想定活断層の多数シナリオに対する広帯域地震動の予測を行い、予測結果の集合が観測記録と比べて、適切な分布をしているかどうかという観点から検証を行っており、今後、信頼性の高い広帯域地震動予測波形を用いた地域の地震ハザード評価への展開につながる事が期待される。

研究成果の概要（英文）：The applicability of the ground-motion prediction by deterministic simulations is limited to a certain period range due to the resolution of the source and the velocity models. Short-period ground motion ($< \sim 1$ s) is often simulated by stochastic or empirical approaches. We have proposed a method to simulate broadband ground motion taking advantage of the deterministically simulated long-period ground motion and the empirical ground-motion characteristics between long- and short-period bands. In this study we proposed several ways to update the method to apply it to strong-motion prediction in Kanto area, Japan, considering the difference in earthquake types and the detailed velocity structure model.

研究分野：応用地震学

キーワード：強震動予測 広帯域地震動予測

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地震動の計算において、震源破壊過程や地震波伝播過程のモデルの解像度に制限され、決定論的な波動伝播シミュレーションの適用は一般的に周期およそ 1 秒以上の帯域に限られることが多い。そのため、広帯域の地震動を統一的な手法で計算することは難しく、高周波数側は統計的・経験的手法などの別の手法で計算し長周期側と足し合わせる「ハイブリッド法」と呼ばれる手法が用いられる。ハイブリッド法は強震動予測手法として広く用いられている(例えば、地震調査研究推進本部, 2020)。

一般的なハイブリッド法では長周期側と短周期側の地震動が独立に異なる情報を用いて合成されており、短周期側には震源・伝播・サイト特性が十分に反映されにくいことや、接続周期付近で不整合な特徴を持つ地震動になってしまう場合があることなどが課題である。

研究代表者らは上記課題を踏まえ、観測点毎に観測記録から得られる地震動特性の周期帯間の関係性(加速度エンベロープ形状の比;ERF)に着目し、長周期地震動を利用して短周期地震動を合成する手法を提案した。震源・伝播・サイトの周波数帯間の特性をまとめて経験的に評価したため、ERFを構成するパラメータの物理的な解釈が一部不明瞭であったことが課題となり、関東を対象地域とした場合に複雑なテクトニクスに起因する様々なタイプの地震の震源・伝播特性をどのように反映させるか検討する必要があると考えられた。また、観測記録が得られていない地点で強震動予測を行う場合、経験的な ERF の代わりにするモデルを詳細な地盤モデル等を用いて導出することが可能と考えられた。

2. 研究の目的

ERFを用いた手法の実用性を高め、関東地域の強震動予測に適用可能とするために、関東下で発生する異なるタイプの地震について周期帯間の地震動特性を整理し、手法を適用する。手法に基づいて計算した広帯域地震動に基づき各地震の発生頻度や地震動の統計的性質を考慮した首都圏の地震ハザード評価を行う。

3. 研究の方法

地震タイプごとに経験的地震動特性を抽出するために、関東下の太平洋プレート境界、フィリピン海プレート境界、フィリピン海または太平洋プレート境界で発生した中規模地震について関東地域で観測された地震動波形記録(防災科学技術研究所の強震観測網 K-NET および KiK-net)を精査し解析に使うものを選別した。

地震動特性の周波数帯域間の経験的な関係を表す ERF を構成する 3 つのパラメータ(a)強震部振幅(地震規模の影響を除去したもの)、(b)強震継続時間、(c)波形後半の減衰形状を求めて整理した。また、3 つのパラメータについて、観測記録のある地点のみならず任意の地点で評価するために、表層地盤特性を表す AVS30 および震源距離に対する散布図や相関係数を算出し、その結果に基づいて回帰式を作成した。振幅に関するパラメータについては AVS30 との関係性をなめらかな形状で中心にピークを持つ確率密度関数の形にフィッティングし、周波数ごとにパラメータが高い感度を持つ地盤特性が異なることを示し、モデル化した。

本手法による広帯域地震動予測手法を地震ハザード評価に用いるための検証として、関東地域における想定活断層による広帯域地震動の予測を行い、予測結果を地震動データの集合として見た際に観測データと比べて距離に対する適切な分布をしているかどうかの確認を行った。

また、本手法における経験的な ERF にはエンベロープ形状の定式化という制約があった。別経費による機械学習の埋め込み法を用いたノンパラメトリックな手法開発研究において、本研究による提案手法および従来からある広帯域地震動予測手法との比較を行った。

4. 研究成果

- (1) 関東地域における異なる地震タイプの地震動観測記録の解析により、地震タイプによって経験的地震動特性 ERF を構成する各パラメータの特徴は明瞭に異なることが示された。これは本手法を様々な地域の強震動予測に適用する際、ERF を導出するための観測記録の選別に予測結果が左右されることを示唆している。

- (2) 関東地域における想定活断層地震の多数のシナリオに対する地震動予測を行い、予測地震動結果の最大加速度や最大速度、加速度応答スペクトルといった強震動指標値について、マグニチュードや距離毎に観測データセットの持つ頻度分布との比較を行った。分布の平均値が観測記録と調和的であることをもって、予測地震動が一定の質を持つことを確認した。観測記録が多く得られているマグニチュード・距離のレンジでは分布の幅についても比較することができたが、分布形状の定量的な比較方法、およびデータの少ない領域における検証方法が取り組むべき課題として明らかになった。
- (3) 本手法で用いる経験的地震動特性には ERF の定式化という制約がある点、および上記(1)のように観測記録の選別に予測結果が左右される点について、ERF の代わりに機械学習の埋め込み法によってエンベロープ形状を学習する方法を検討した。本手法、機械学習を適用した手法、従来のハイブリッド法について、関東周辺で発生した地震の観測記録の再現性について比較し、本手法、機械学習を適用した手法ともに従来のハイブリッド法よりも再現性が高く、特にエンベロープ形状の再現性は機械学習を適用した手法が最も良いことを示した。本手法に機械学習を適用した手法によって上述した課題が解決される見通しが得られた。

本研究で検討した広帯域地震動予測手法は、震源モデルや地下構造モデルに基づく地震波伝播シミュレーションの情報を短周期帯域でも活かすことができるため従来の方法に比べて広帯域で精度が高く、計算コストも現実的な手法である。経験的な地震動特性の導出に機械学習の手法を取り入れることにより、より多様な地域やタイプの地震に対応できる可能性が示された。

<引用文献>

地震調査研究推進本部地震調査委員会、震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」), 2020, https://www.jishin.go.jp/main/chousa/20_yosokuchizu/recipe.pdf .

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1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 Okazaki Tomohisa, Hachiya Hiroataka, Iwaki Asako, Maeda Takahiro, Fujiwara Hiroyuki, Ueda Naonori	4. 巻 -
2. 論文標題 Simulation of broadband ground motions with consistent long-period and short-period components using Wasserstein interpolation of acceleration envelopes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geophysical Journal International	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） 10.1093/gji/ggab225	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 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 1件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Asako Iwaki, Hiroyuki Fujiwara, Shigeki Senna
2. 発表標題 Broadband Ground Motion from 3D Numerical Simulation with Empirical Ground-Motion Characteristics
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting 2019（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩城麻子
2. 発表標題 広帯域強震動の特性解明と予測手法の開発に関する研究
3. 学会等名 日本地震学会2019年秋季大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩城麻子・藤原広行
2. 発表標題 経験的地震動特性を用いた広帯域地震動合成手法の面展開
3. 学会等名 日本地震学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岩城麻子・森川信之・前田宜浩・藤原広行・今井隆太・高棕恵
2. 発表標題 周波数帯域間の地震動特性の関係性に基づく広帯域地震動合成法の面展開
3. 学会等名 日本地震工学会・大会-2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岩城麻子・藤原広行・森川信之・前田宜浩
2. 発表標題 データ駆動型強震動予測モデルにおける地震動シミュレーションデータの活用の可能性
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
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
---------	---------