

令和 6 年 6 月 21 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K05044

研究課題名(和文)地震波のサイト増幅特性評価の高度化とそれを用いた地下構造モデルの検証に関する研究

研究課題名(英文) Study on improvement estimation of site effect of seismic waves and validation of underground velocity structure model

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) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：震源特性に破壊伝播効果を含むスペクトルインバージョン法の新しい定式化を行い、2016年熊本地震の地震系列を対象として適用した。破壊伝播方向、破壊伝播速度、破壊伝播比(ユニラテラルからバイラテラルの間)のパラメータを推定する。震源を取り囲む観測点波形データが準備できた場合には、これらの震源のパラメータ推定は信頼性高く求められることがわかった。この方法によって推定された震源項を元に応力降下量を推定すると、その分布は従来法に比べてバラツキが小さくなったが、イベント毎の特徴(規模、深さ、発生位置)によるバラツキは残ることがわかった。また得られたサイト増幅特性から地盤構造モデル推定を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

強震観測点の増加により、多数の波形データを使う環境が整ってきている。従来の地震波特性の分析手法を高度化し、震源特性及びサイト増幅特性を複数のパラメータにおいて分析するための定式化を行うことで、従来より詳細な震源特性とサイト増幅特性を求めることができる。震源特性は将来起きる地震像の拘束に利用され、サイト増幅特性は、強震動予測に必要な地盤構造モデルの高度化に活用でき、これらにより将来起きる地震時の強い揺れの予測精度を上げ、地震被害の軽減につなげることができる。

研究成果の概要(英文)：A new formulation of the spectral inversion method including finite source fault effects in the source characteristics is developed and applied to the strong motion data of the 2016 Kumamoto earthquake sequence. The parameters of rupture propagation direction, rupture velocity, and rupture pattern are estimated. It is found that the source parameter estimation can be obtained reliably when station coverage are fine. When the stress drop was estimated based on the source terms estimated by this method, the distribution of the stress drop was less varied than that by the conventional method, but the characteristics of each event (magnitude, depth, and location) remained.

Using the obtained site amplification factor of each station obtained by the spectral inversion, we assumed that the site amplification was caused by the underground velocity structure below the station and validated the existing underground velocity structure model.

研究分野：強震動地震学

キーワード：スペクトルインバージョン 地震波サイト増幅特性 震源特性 伝播経路特性 地盤構造モデル 破壊伝播速度 応力降下量 珠洲市正院

1. 研究開始当初の背景

1995年兵庫県南部地震による阪神・淡路大震災をうけて、文部科学省に地震調査研究推進本部が設立され、その研究成果として、全国の地震ハザードを評価した全国地震動予測地図を作成、公表している。地震動予測には震源断層モデルと地下構造モデル(ここで必要な情報は地震波速度と密度、及び減衰定数)が必要であるが、この全国地震動予測地図を作成するため、全国の地下構造モデルが構築されている。地下構造モデルの構築には、人工地震探査や微動探査、重力探査、といった各種地球物理学的手法によって得られた情報を用い、それらを内・外挿しているため、当然都市圏は情報が多く、地域によっては探査情報が十分でないことから、モデルの信頼性、精度、といった面では不足しており、このモデルの検証を実施し、モデルの改良を継続的に行う必要がある。

モデルの検証には、新たに地球物理学的な探査を実施する方法もあるが、ここでは、全国に展開された強震観測点、自治体震度情報ネットワークシステムの観測点の波形データを用いることを考えた。これらは直接的にはモデル構築には使用されていないため、観測点サイト特性をモデル検証と改良に用いることを考えた。加えて、高密度の強震データセットを得ることができるため、既往のスペクトル・インバージョン法の改良を考えた。加えて研究期間内に大地震が発生した場合は、それらの波形データを収集し、本手法を適用して方法の妥当性や発展性を確認する。

2. 研究の目的

従来、震源特性とサイト増幅特性がそれぞれ震源、サイトで1つのパラメータを仮定していたスペクトル・インバージョン法に対して、有限断層での破壊伝播による震源特性の方位依存性、地下の2、3次元不均質構造に起因するサイト増幅特性の方位依存性を抽出し、震源特性推定の高度化、及び地震波サイト増幅特性を用いた地下構造モデルの検証と改良に向けた方法論の提案を行うことを目的とする。解析結果の活用として、得られたサイト増幅特性を使い、現在使われている地下構造モデルの検証を行うとともに、観測サイト増幅特性を用いたモデル更新、改良の方法論を提案し、実際のデータに適用してその妥当性を検証する。

スペクトル・インバージョン手法は観測地震波形から震源特性、伝播経路特性、サイト増幅特性を分離する極めて基本的な地震波解析手法のひとつであり、Andrews(1980)によってプロトタイプが示されたのち、岩田・入倉(1986)、Iwata and Irikura (1988)では、観測方程式に伝播経路特性項を導入した形を提案した。以来、拘束条件の与え方や、伝播経路特性を地域区分するといったモデル設定がなされ、数多くの解析結果と研究成果を収めてきている。これまで震源特性とサイト増幅特性は地震とサイトで1つのパラメータで表すという観測方程式の形は変更されておらず、本研究において、多数のデータを使うことにより、震源特性及びサイト増幅特性を複数のパラメータにおいて分析する点でこれまで類を見ないオリジナリティの高い方法を提案できる。

3. 研究の方法

観測点密度とイベント数が多い、2016年熊本地震系列のデータセットを準備し、従来法のスペクトル・インバージョンを適用して、震源特性、伝播経路特性、サイト増幅特性を求める。観測スペクトルとモデルスペクトルの残差の空間分布を示すことにより、震源特性の方位依存性、あるいは観測点サイト増幅特性の方位依存性を明らかにする。それに基づき、スペクトル・インバージョン法の新しい定式化を行い、データセットに適用してパフォーマンスを確認する。

4. 研究成果

震源特性に破壊伝播効果を含むスペクトルインバージョン法の新しい定式化を行い、2016年熊本地震の地震系列を対象として適用した。破壊伝播方向、破壊伝播速度、破壊伝播比(ユニラテラルからバイラテラルの間)のパラメータを推定した。震源を取り囲む観測点波形データが準備できた場合には、これらの震源のパラメータ推定は信頼性高く求められることがわかった一方、まわりを十分に取り囲んでいない場合は、推定精度が低くなることを確認した。この方法によって推定された震源項を元に応力降下量を推定すると、応力降下量の推定値分布は、コンベンショナルな方法に比べてバラツキが小さくなったものの、イベント毎の特徴(地震規模、発生深さ、発生場所など)は残っており、イベント毎の応力降下量のバラツキはいまだ存在することがわかった。

スペクトルインバージョンで得られた各観測点の地震波サイト増幅特性を用いて、そのサイト増幅が観測点直下の地盤構造によってもたらされるものと仮定し、既存の地盤構造モデルの妥当性検証を行った。より詳細な物理探査結果を踏まえた地盤構造モデルが、観測サイト増幅特性をよく示すことを確認した。コンベンショナルなスペクトルインバージョン法により、北陸地

域及び静岡地域で観測された強震記録のデータセットに当てはめ、サイト増幅特性を求めるとともに、既存地盤構造モデルの検証と高度化を行った。一般構造物を含む建物の被害に関する0.2-10Hzの周波数帯の再現には深部のみならず浅部構造の影響があることから、観測サイト増幅特性を用いて浅部及び深部の地盤構造モデルの検証や更新(改良)を進めることができることを示した。

2020年末より地震活動が続き、高震度を複数回記録した石川県珠洲市 K-NET 正院の地震動特性を、スペクトルインバージョン結果及び微動観測により明らかにした。浅い地盤構造による周期1秒前後の地震動増幅が顕著であること、及び強震動時には地盤の非線形化による地盤卓越周期の長周期化が見られた。破壊伝播を強震記録から直接推定する方法を2023年トルコ・シリア地震に適用した。

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Shimazu, H., T. Iwata, K. Asano, K. Somei, and S. Senna	4. 巻 1
2. 論文標題 Estimation of Site Effects at Strong Motion Sites in Shizuoka, Prefecture, Japan, Using the Spectral Inversion Method	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. 6th IASPEI/IAEE Symposium on Effects of Surface Geology on Seismic Motion	6. 最初と最後の頁 GS5-P34
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8件（うち招待講演 1件／うち国際学会 2件）

1. 発表者名 岩田知孝・浅野公之・宮本 英
2. 発表標題 能登半島北東部の群発地震によるK-NET正院の地震動特性と地下構造
3. 学会等名 日本地震学会2023年秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岩田知孝・浅野公之・宮本 英・緒方夢顕
2. 発表標題 2022年6月19日能登地方の地震(M5.4)時に震度 6 弱を記録したK-NET正院の地震動特性と地盤構造
3. 学会等名 京都大学防災研究所研究発表講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Iwata, T., K. Asano, and H. Sekiguchi
2. 発表標題 Direct Observation of Surface Fault Ruptures during the 2023 South-Eastern Turkiye Earthquake of Mw 7.8
3. 学会等名 SSA-SSJ International Symposium on Future Directions of Physics-based ground motion modeling, Vancouver, Canada, October 2023（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Iwata, T., K. Asano, K., and H. Sekiguchi
2. 発表標題 Estimation of Rupture Velocities of the Amonos Segment during the 2023 South-Eastern Turkiye Earthquake of Mw 7.8
3. 学会等名 AGU 2023 Fall Meeting, S13C-0362, December 2023. (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kazuhiro Somei, Kimiyuki Asano, and Tomotaka Iwata
2. 発表標題 Development of a New Spectral Inversion Method Considering with Rupture Directivity
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 染井一寛・浅野公之・岩田知孝
2. 発表標題 北陸地方の強震観測点におけるサイト増幅特性とそれを用いた速度構造モデルの推定
3. 学会等名 令和3年度京都大学防災研究所研究発表講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 染井一寛・浅野公之・岩田知孝
2. 発表標題 スペクトルインバージョン結果の残差に現れる震源断層破壊伝播の影響
3. 学会等名 日本地震学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 染井一寛・浅野公之・岩田知孝
2. 発表標題 断層破壊指向性を考慮したスペクトルインバージョン法の高度化
3. 学会等名 令和2年度京都大学防災研究所研究発表講演会
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
研究分担者	染井 一寛 (Somei Kazuhiro) (40750584)	一般財団法人GRI財団・その他部局等・研究員 (84422)	

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
---------	---------