

令和 4 年 6 月 27 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15262

研究課題名(和文)地震波干渉法解析による強震動評価のための地下構造イメージング

研究課題名(英文)Subsurface structure imaging for strong motion prediction using seismic interferometry

研究代表者

地元 孝輔(Kosuke, Chimoto)

東京工業大学・環境・社会理工学院・助教

研究者番号：40713409

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)：強震動評価に必要な地下構造モデルを簡便かつ安価に入手できるようにするため、微動と自然地震により擬似的な反射断面をイメージングする方法の開発に取り組んだ。自然地震の自己相関によるイメージング手法の開発においては、理論自己相関関数のデータ処理に関する検討を行い、フィルタ範囲やバンド幅の設定が重要であることを明らかにした。実観測記録への適用において、サイト毎に適切なパラメータを設定することで地震基盤反射波を合成することができた。微動によるイメージング手法については、高密度な微動観測を実施し、その上下水平動スペクトル比と相互相関関数により表層地盤の詳細な空間変化を捉えることに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

強震動評価に必要な地下構造のイメージングは、人工地震探査によるものは大規模かつ高価な手法であるが、本研究では自然に発生する地震と微動の記録により安価かつ簡便に深部地盤のイメージングを可能とする手法を開発した。自己相関による地震基盤反射波の合成においては、サイトによってデータ処理におけるパラメータ設定が重要であることを示し、その設定方法の仕方を提案している。微動によるイメージングにおいては、多数の相互相関関数から地下構造の空間変化を捉える手法を開発した。多数の微動計を同時に使用するリニアアレイ観測手法を提案し、表層地盤の詳細なイメージングが可能であることを示した。

研究成果の概要(英文)：To make the subsurface structure models which is necessary for strong-motion prediction, a method was developed for imaging pseudo-reflection cross-section by natural earthquakes and microtremors. For the imaging method using natural earthquakes, data processing of the theoretical autocorrelation function was investigated and it was found that the setting of filter range and bandwidth is important. By applying to actual observation records, synthesized reflection at the seismic bedrock was captured by setting appropriate parameters for each site. For the microtremor imaging method, dense microtremor observations were conducted, and detailed spatial changes in shallow soil were captured by the horizontal-to-vertical spectral ratio and cross-correlation function.

研究分野：地震工学

キーワード：地震波干渉法 地下構造 S波速度構造 自己相関 強震動 微動 イメージング 強震動予測

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

大規模な人工震源を必要とする反射法地震探査は、活断層調査および都市の深部地下構造調査のために、数多く実施され、その有用性が認識されている。しかし、都市部での調査は困難であり、また非常に高価な技術である。そこで自然に発生する自然地震と微動を用いることで、地下構造イメージを疑似的に得る手法を開発することで安価かつ手軽な地下構造調査の実用化を目指す。この手法は地震波干渉法を応用するもので、微動と自然地震により堆積層の反射波記録を合成する新しい試みである。低コストで実現できることで、全国のハザードマップの改善が期待され、地震防災計画の策定に資する。

2. 研究の目的

本研究は、大規模な人工震源を使用する反射法地震探査により得られる地下構造イメージを、微動を用いて疑似的に作成する手法を開発することで、強震動評価の高度化を目指す。これは新しい物理探査手法である地震波干渉法を応用する研究であり、それによる地下構造モデルを用いた強震動シミュレーションにより地下構造モデル化精度の向上を検証する。

ダイナマイトや大型のパイロサイス起震車による人工震源を必要とする反射法地震探査は信頼性の高い強力な地下構造探査技術であるが、高価であり都市部での調査は困難を極める。自然に発生する微動や地震を用いる探査法は人工震源を必要とせず、環境や安全性に影響がなく経済性に優れていて時間や労力もはるかに少ない。それにより大規模な反射法地震探査と同様の結果が得られるとすればその手法の価値は高い。この手法の基となる地震波干渉法は、地球物理学の分野で発展した手法であるが、強震動予測の高度化のために、コストのかからない自然地震と微動を用いて堆積層の反射断面を疑似的に推定することを目的とする。

3. 研究の方法

自然地震と微動の相関関数による地震基盤反射面のイメージングを行うため、まず相関関数の理論的検討を行う。提案手法の妥当性を検証するため、数値実験による地下構造イメージングの可能性を示す。平行成層地盤モデルを仮定し数値実験による妥当性に関する簡易な検証を行う。その後、断層のような急激な地下構造変化をもつ現実的な複雑なモデルによる反射波合成シミュレーションにより、地下構造イメージングの復元性について定量的に示す。

自然地震の自己相関の場合には、複雑な堆積層構造による様々な反射波から地震基盤反射波を合成するために適切なデータ処理手法のパラメータ設定を行う必要がある。そのためには、自己相関関数のスペクトルホワイトニング幅とフィルタ範囲を詳細に検討する。

次に、微動観測によって微動記録の取得を行う。千葉県成田市をテストサイトとし、取得したデータの整理をして品質確認を行う。

実際の微動観測記録を地震波干渉法へ適用し、疑似反射波記録を得るためのデータ処理手法について検討する。地震波干渉法の既往研究では明瞭なイメージを得るためにさまざまなデータ処理手法が提案されている。使用する連続記録の取舍選択の方法、ビット化処理、スペクトルホワイトニングなどのデータ処理方法とそのパラメータの設定方法について検討する。また、コリレーション型やデコンボリューション型の地震波干渉法解析による、疑似反射波によるイメージング結果について反射面の明瞭さに関する検討をする。

4. 研究成果

既存の地震観測網により蓄積されている自然地震の記録を用いて地下構造イメージを疑似的に得るための基礎的な検討を行った。特にデータ解析において、理論と観測値に基づいて適切な処理方法を提案したことで、手法の標準化に役立てられることができた。また、既存の地下構造モデルを用いた数値実験により疑似的な地下構造イメージを推定した。地下構造モデルの違いにより、反射波の到達時間がサイトによって異なり、相関関数が徐々に変化することがイメージから推定できる。また数値実験から、広帯域の記録を用いることで、表層地盤から地震基盤までの堆積層による反射波を合成できることがわかった。一方で観測記録からは限られた帯域が合成されているため、どの層境界からの反射波であるかを特定することが重要であることもわかった。既存の観測記録から推定された相関関数と比較し、理論値と整合していること、地域によってモデル修正の必要性があることが明らかになった。

自然に発生する微動によるイメージングを行うため、観測線に沿って複数の微動計によるリニアアレイを高密度に展開した。微動観測では、3成分過減衰型速度計とデータロガーを組み合わせた機材を複数台用いた。測線に沿ってリニア微動アレイを多数回展開した。合計300点以上で測線に沿ってトランスバース方向とラディアル方向の水平成分と上下成分の微動を測定した。微動の上下水平動スペクトル比 H/V は、各観測点で得られた記録を分割し、それぞれの区間で微動のフーリエスペクトルを推定し、それにより H/V を求めた。

観測線に沿って H/V スペクトル比を推定した。観測線上ではいずれも0.2Hz程度でピークが認められ、その空間変化はない。しかし、1Hzから10Hz程度までにピークが認められ、その空

間変化は顕著であった。中央から北部にかけて、10Hz 程度で第 3 のピークが認められる場合がある。次に、隣接する観測点どうしの相互相関関数を計算した。記録を 1 分ごとに分割し 1 ビット化を施したのち、デコンボリューション型の相互相関を求めた。

上下方向の関数をフィルタ処理した。ピークが測線中央では 1 秒に現れ、測線北部では 0.5 秒程度と速い。リファレンス地点ではさらに速い。測線南部は変化が著しく、これは H/V にも見られていることから、速度構造の変化も著しいことが示唆される。

この相互相関関数を 2 次元上にプロットすることで、擬似反射断面を推定することができた。本研究では、このように微動記録から擬似反射断面を推定することを明らかにしたが、さらにストレッチング法を適用することで、地下速度構造のモデル化への応用が期待される結果となった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2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 Chimoto Kosuke, Yamanaka Hiroaki	4. 巻 110
2. 論文標題 Tuning S-Wave Velocity Structure of Deep Sedimentary Layers in the Shimousa Region of the Kanto Basin, Japan, Using Autocorrelation of Strong-Motion Records	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Bulletin of the Seismological Society of America	6. 最初と最後の頁 2882 ~ 2891
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1785/0120200156	査読の有無 有
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 -

1. 著者名 Chimoto Kosuke, Yamanaka Hiroaki	4. 巻 50
2. 論文標題 S-Wave velocity structure exploration of sedimentary layers using seismic interferometry on strong motion records	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Exploration Geophysics	6. 最初と最後の頁 625 ~ 633
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/08123985.2019.1654835	査読の有無 有
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6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Kosuke Chimoto, Hiroaki Yamanaka
2. 発表標題 Validation of S-wave velocity structure of sedimentary layers of the Kanto basin using strong motion records applied to seismic interferometry
3. 学会等名 JpGU - AGU Joint Meeting 2020: Virtual (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 地元孝輔・山中浩明
2. 発表標題 高密度リニアレイ 微動の相関関数による空間速度変化の検出
3. 学会等名 公益社団法人 物理探査学会 第143回(2020年度秋季) 学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 地元孝輔・山中浩明
2. 発表標題 高密度リニアアレイ微動記録の相互相関関数による空間速度変化検出の試み
3. 学会等名 日本地震学会2020年度秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kosuke Chimoto, Hiroaki Yamanaka
2. 発表標題 Validation of seismic bedrock structure model in the Shimousa region, Chibe prefecture, Japan using seismic interferometry to strong motion
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 地元孝輔, 山中浩明
2. 発表標題 強震動を用いた地震波干渉法による下総地域の S波速度構造モデルのチューニング
3. 学会等名 日本地震工学会・大会 - 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 地元孝輔, 山中浩明
2. 発表標題 スペクトルホワイトニングを施した強震記録の自己相関による堆積層反射波の合成
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2019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
---------	---------