

令和 6 年 6 月 9 日現在

機関番号：16201

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01588

研究課題名（和文）マルチアレイ微動観測の大量データに基づく地下構造モデルのアップコンバート技術開発

研究課題名（英文）Development of upconversion technique for subsurface structure modeling based on large amounts of data using multi-array microtremors

研究代表者

地元 孝輔（Chimoto, Kosuke）

香川大学・創造工学部・准教授

研究者番号：40713409

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,700,000円

研究成果の概要（和文）：地震動予測のために必要となる地下構造モデルの改良することを目的とし、微動と地震動の観測データを取得してそれにより地下構造の変化量を推定することで効率的にモデルアップコンバートする手法を開発した。既存の地震動記録によって高密度かつ高精度な地震波速度構造を推定し、マルチアレイ微動観測による大量のデータを取得して地下構造の空間変化を捉えてモデルを補間する新しい地下構造モデル化手法の可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地震動予測のため、適切な地下構造モデルを作成することは重要であるが、現在のモデルには改良の必要性があることがわかってきている。そこでこれまでとは異なり、地下構造に依存する関数の変化量を捉え、モデルの変化量を推定する新しいモデル化手法を開発した。安価ながらも反射法地震探査による反射断面と類似した地下構造モデルを推定することができたことは、この手法の適用可能性が高いことを示した。

研究成果の概要（英文）：To improve subsurface structure models which are required for the earthquake ground motion prediction, we developed an model upconversion technique which estimates the subsurface structure velocity change from large amount of microtremor and seismic observation data. We demonstrated the feasibility of a novel technique to estimate subsurface velocity structure model that exploits the existing seismic records to estimate the seismic velocity structure with high density and accuracy, and those structures were interpolated by capturing the spatial elastic wave velocity change by measuring a large amount of data from multi-array microtremor observations.

研究分野：防災工学

キーワード：地下構造モデル マルチアレイ微動 地震波干渉法

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

強震動予測のため、適切な地下構造モデルを作成することは重要である。現在では日本全国の地下構造モデルが提案されてそれを用いて強震動予測が行われているが、モデルが必ずしも完璧なものではなく改良の必要性があることも徐々にわかってきている。強震動予測に使用する地下構造モデルにおいて被害地震による被害地域や平野の盆地端部を詳細に明らかにしておくことは局所的な地震動の増幅を適切に予測するために重要である。しかし、これまでと同じ探査や修正手法によって日本全国の地下構造モデルの更新を行うことは果てしない時間と労力がかかり現実的でない。近年の探査技術においては、観測機材の小型化や同時計測の容易さ、観測網の増加による大量のデータの保存が可能になってきていることが大きな変革をもたらしている。そこで、これまでのやり方のように対象とする地域において既往の探査手法によって一からモデルを推定するのではなく、地下構造モデルが高い精度で推定されている地域を基準にして、他の地域や同地域のより詳細な空間変化をモデル化するために、地下構造に依存する地震動から算出される関数の変化量を測定してモデルの変化量を推定することで広域かつ詳細なモデルを改良するモデルアップコンバートの考え方を導入するなどの新しいモデル化手法が期待される。この手法を開発することでP波およびS波速度に関する地下構造モデルの効率的なモデルアップコンバートが期待できる。

2. 研究の目的

地下構造モデルを効率的にアップコンバートするために対象とする地域のモデルを一から推定するのではなく、微動観測と地震観測網により取得できる地震動のデータから地下構造に依存する関数を推定し、その変化量を捉える手法を開発する。その関数の変化量に基づいて地下構造モデルパラメータの変化量を推定することでモデルのアップコンバートに取り組む。使用するデータはこれまで大量に蓄積されている地震動観測記録のほか、マルチアレイ微動観測手法を提案して採用することにより空間的にデータが不足している地域において大量のデータを取得して補い、各観測点における地下構造に依存する単純な関数をデータから推定してその空間変化を捉える。それによって平野の盆地端部や被害地震による被害地域などの地下構造モデルにおいて重要な部分の詳細に明らかにする。提案する手法を通してモデルの効率的な改良とモデルアップコンバートの実現可能性を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

地下構造の探査手法として大きく発展している微動探査では同時観測であるアレイ観測が容易になってきており、アレイ観測をさらに複数の箇所で行うマルチアレイ微動観測により空間的に大量のデータを取得する方法を提案する。その観測により取得される大量のデータにより各観測点における単純な関数である上下水平動スペクトル比や自己相関関数、相互相関関数および単点相互相関関数を推定し、それらが空間的にどのように変化してゆかか捉える。

さらに日本全国に配置されている強震観測網のデータが大量に蓄積されており、この大量のデータを有効に利用することもまた地下構造モデルのアップコンバートに大きく資する。強震観測記録においては、自己相関関数とレシーバー関数を各地震記録により推定し、それらの同時解析によってP波およびS波速度と基盤深度を同時に推定してそれらの空間的な変化を捉える。

それぞれの空間変化量はストレッチング法により定量的な地震波速度変化率としてそれぞれ変換する。変換された地震波速度変化量は、既往の微動探査手法による位相速度分散曲線と比較したり反射法地震探査手法によって推定された反射断面との比較を通して、空間変化量の妥当性について検証する。最終的に、既存の地下構造モデルから計算される理論値との比較を行い、アップコンバート手法の適用可能性について検討し詳細な地下構造モデルを提示する。

4. 研究成果

マルチリニアアレイ微動により取得できるテストデータを用いて解析を進め、アレイ微動の自己相関関数、相互相関関数、単点相互相関関数を推定することで、それらの関数の空間変化を捉えられる可能性があることを確かめた。この空間変化は、すでに多く利用されている上下水平動スペクトル比の卓越周期の空間変化とよく対応していることからその妥当性が確かめられた。それぞれの空間変化量をストレッチング法により定量的な速度変化率としてそれぞれ変換したところ、テスト計算においてはモデルアップコンバートの実現可能性が高いことが示唆されたので、研究対象とする被害地震の被災地と平野の盆地端部において実データを取得してモデルアップコンバートを実施した。

マルチアレイ微動観測による地下構造モデルのアップコンバート技術を実観測記録へ適用するため、研究対象とする被害地震の被災地および平野の盆地端部において微動観測を実施した。6台以上の微動観測機材を同時に用いて調査測線上で同時に観測するリニアアレイ微動観測を繰り返し10回以上展開して実施する方法により、これまでの微動観測に比べて大量の数百点の微動記録を短期間で効率的に取得することができることを示した。この記録について上下水平

動スペクトル比および自己相関関数、相互相関関数、単点相互相関関数を計算した。その結果、同測線上で実施されていた既往の単点微動観測記録による上下水平動スペクトル比とおおむね一致することを確認し、空間的により解像度の高い結果を得ることができたと言える。それらの自己相関関数および相互相関関数、単点相互相関関数からは明瞭な空間変化が確認でき、地下構造の急変位置を明瞭に捉えることができた。特に平野の盆地端部では断層による急変構造が明瞭に現れた。

上下水平動スペクトル比、自己相関関数および相互相関関数、単点相互相関関数それぞれの空間変化量をストレッチング法により定量的な速度変化率としてそれぞれ変換した。変化率は既往の解析手法から推定される速度変化率ともよく一致することを確認し、マルチアレイ微動によるアップコンバート技術が適用可能性であることを確かめた。

被災地域と平野内においては既存の微動アレイ探査手法も実施しており、既存の解析手法により定量的な地下構造モデルのパラメータを推定している。この結果と自己相関関数や単点相互相関関数の空間変化の結果を統合して地下構造モデルを修正できた。さらに、地震波干渉法のゼロクロス法を用いることで、リニアアレイ微動により位相速度分散曲線を推定できることが明らかとなった。しかも各種関数の長所と短所も明らかにしたことにより、さまざまな条件下において最適な関数を提案できた。特に被害地域においては地下構造の微細な変化を捉え、断層帯においては断層による地下構造の急変部を明瞭に捉えることでモデルのアップコンバートを実施できた。このとき通常の微動アレイ観測も併用することで、変化量の絶対値を把握することができた。これまで難しいとされてきた盆地端部によるエッジ効果による地震被害の予測に有効な手法と言えることを明らかにした。

地震動についても高密度に展開されている観測網の記録を使用して、近地地震記録の強震観測記録に対して P 波と S 波部の自己相関関数とレシーバー関数の推定を行い、それによる P 波と S 波の平均速度と基盤震度の空間変化を捉えることを実施した。使用した強震観測データは、首都圏強震動総合ネットワーク、首都圏地震観測網、および強震観測網、基盤強震観測網によるものである。それらのデータを収集及び整理して解析した。特に大量の地震動データが蓄積されている関東平野において自己相関関数の推定においては対象とする堆積層からの反射波を明瞭に抽出するために適切なスムージングのバンド幅を決定する必要があることを明らかにした。これは、S 波の自己相関関数だけでなく、P 波の自己相関関数の推定においても重要なデータ処理手法であることがわかった。これらとレシーバー関数から地震基盤における反射波や変換波の空間変化を明瞭に捉えることができた。しかも関東平野では、PpPs 変換波も卓越することが明らかになったため、それらの同時解析を行い、H-V スタックによって P 波速度および S 波速度、基盤深度に変換して定量化することができた。レシーバー関数法では基盤での変換波のみならずその多重反射波を同時に解析すること、さらには S 波と P 波の自己相関関数も同時に解析することで、当初の目的であった S 波速度と基盤深度を推定するのみならず P 波速度構造の同時推定の可能性も示唆された。

定常地震観測点における地震記録を用いた手法ではレシーバー関数と自己相関関数の H-V スタックにより S 波だけでなく P 波速度構造モデルも同時に推定する手法を開発し、これを関東平野の高密度地震観測に適用して関東平野の広域かつ詳細な 3 次元深部地盤構造モデルのアップコンバージョンができた。このように、定常観測網による大量データが利用できる一方、被害地震による被害地域の局所的な地盤増幅や、平野の盆地端部における局所的な地盤増幅を予測するためには、既存の観測網ではまだ十分とはいえないデータ量であるため、そのような部分においてはマルチアレイ微動観測によって大量のデータ取得を行い、その微動観測記録による相関関数などの変化を通して、地下地震波速度構造モデルのアップコンバートが実現できることを提案した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3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	4. 巻 113
2. 論文標題 Sedimentary <i>P</i> - and <i>S</i> -Wave Velocity Structures in Shimousa Region of Kanto Basin Determined from Joint Autocorrelation and Receiver Function Analysis	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Bulletin of the Seismological Society of America	6. 最初と最後の頁 1867 ~ 1877
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1785/0120230058	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 Kosuke Chimoto, Hiroaki Yamanaka	4. 巻 -
2. 論文標題 High-resolution spatial elastic wave velocity variation detected using multiple-linear-array microtremor measurements	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Exploration Geophysics	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） 10.1080/08123985.2024.2323473	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	4. 巻 179
2. 論文標題 Joint Autocorrelation and Receiver Function Analysis of Sedimentary Structures Using Strong Ground Motion Records	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Pure and Applied Geophysics	6. 最初と最後の頁 2757 ~ 2768
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00024-022-03099-5	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11件（うち招待講演 1件／うち国際学会 4件）

1. 発表者名 地元孝輔
2. 発表標題 1927年北丹後地震の被害地域における微動アレイ探査
3. 学会等名 2023年度日本建築学会大会（近畿）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 地元孝輔
2. 発表標題 北海道むかわ町における高密度リニアアレイ微動観測による空間速度変化の推定
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 地元孝輔
2. 発表標題 最新の地下構造モデル化手法の関東平野への適用事例
3. 学会等名 第51回地盤震動シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 地元孝輔
2. 発表標題 1995年兵庫県南部地震の被害地域における微動アレイ探査による表層地盤の推定
3. 学会等名 2024年度日本建築学会大会（関東）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Kosuke Chimoto
2. 発表標題 Estimation of Nagao Fault using multi-linear-array microtremor
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2024（国際学会）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Kosuke Chimoto
2. 発表標題 Multiple linear array microtremor measurement across the Nagao Fault
3. 学会等名 The 6th edition of Asia Pacific Meeting on Near Surface Geoscience and Engineering (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Kosuke Chimoto
2. 発表標題 Estimation of sedimentary velocity structures of Kanto Basin using ground motion records induced by natural earthquakes
3. 学会等名 The 6th edition of Asia Pacific Meeting on Near Surface Geoscience and Engineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 地元孝輔
2. 発表標題 近地震記録のレスーバー関数と自己相関関数による関東平野の地震波速度構造モデルの推定
3. 学会等名 物理探査学会 第150回(2024年度春季)学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 地元孝輔
2. 発表標題 地震波干渉法理論に基づく強震記録のレスーバー関数と自己相関関数の同時解析による地盤構造の推定
3. 学会等名 日本地震学会秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 地元孝輔
2. 発表標題 地震波干渉法理論に基づく強震記録のレシーバー関数と自己相関関数の同時解析による下総地域の地盤構造の推定
3. 学会等名 物理探査学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kosuke Chimoto, Hiroaki Yamanaka
2. 発表標題 SEDIMENTARY STRUCTURE IMAGING OF THE KANTO BASIN WITH STRONG MOTION RECORD APPLIED TO SEISMIC INTERFEROMETRY
3. 学会等名 The 6th IASPEI / IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion August 2021 (国際学会)
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	山中 浩明 (Yamanaka Hiroaki) (00212291)	東京工業大学・環境・社会理工学院・教授 (12608)	

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