

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04586

研究課題名(和文)地震動特性の評価指標の提案とその活用に関する検討

研究課題名(英文) Proposal of feature extraction and analysis technique of earthquake motion characteristics

研究代表者

久世 益充 (KUSE, Masumitsu)

岐阜大学・流域圏科学研究センター・准教授

研究者番号：30397319

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)：地震動波形の工学的特性(振幅・周期・経時特性)を的確に捉える事が可能な地震動指標の提案を目的に、加速度波形より算出される非定常パワースペクトルを次元縮約した特徴量を提案した。さらに多数波形を対象とした波形間比較を行うため、モード分解手法を適用した次元縮約手法を提案した。提案した手法を2011年東北地方太平洋沖地震に適用した結果、9次元程度で地震動波形の特徴を捉えることができると共に、この特徴量を用いた波形間比較が有効であることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

観測された地震動波形の工学的特性を捉え、かつ、比較的限定されたパラメータで評価された特徴量により、波形の特徴を容易に理解することが可能である。数次元程度の特徴量で地震動波形を比較できることで、多数波形を対象とした波形間評価が可能である。

得られた成果は、観測波形を利用した被害予測や分析に活用が期待できる。具体的には、地震動波形やこれに関連する情報(観測地点周辺の被害状況や解析結果など)をデータベース化しておけば、新たな観測波形に類似した波形の関連情報を参照することが可能となると考える。

研究成果の概要(英文)：For the purpose of evaluation and analysis of earthquake motion characteristics(amplitude, period, and, duration), we applied our developed method for characteristics extraction in the time-frequency domain. In this analysis, the method utilized a period-dependent feature vector based on the evolutionary power spectrum. And, for the comparison using to many earthquake motions, using the estimated density distribution, the singular value decomposition was applied.

As a numerical example to demonstrate the effectiveness of the proposed method, the acceleration records observed from the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake were used. Consequently, the characteristics of each earthquake motions was able to extract from the principal component scores obtained from the singular value decomposition. And, the feature vector was shown that the waveform comparison can be.

研究分野：地震工学

キーワード：地震動の特徴抽出 波形間比較 特徴ベクトル

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地震動特性の評価は地震工学における基本的な問題であり、振幅・周期・経時特性を的確に捉えることが重要である。例えば振幅・周期特性を表す応答スペクトルは、その工学的重要性和簡便性から、地震動の特徴を分析する指標として不可欠である。その他、振幅特性、すなわち各地の最大加速度や震度を得る手法や、経時特性に関する指標として群遅延時間や震度継続時間の予測式など、地震動特性を評価・分析するための手法は多数提案されている。さらに、振幅・周期・経時特性を説明できる表現手法として、ウェーブレット変換を用いた手法や、非正常パワースペクトルが知られている。両者は地震動波形に含まれる周期ごとの振幅の時間変動を表す指標であるが、元の地震動波形に対して、データ量は同じ、または増大する。

以上のように、地震動特性を表す指標は多数提案されているが、振幅特性など特定の地震動特性を表すパラメータである事が多い、あるいは地震動波形と同程度以上のデータ量で表現される。また、多数の地震動波形を用いた分析・解析においては、データ処理や数値計算処理への負担を考えると、データ量は少ない方が望ましい。そのため、地震動波形に含まれる種々の情報を保持したまま、地震動波形よりもデータ量の少ない、次元縮約した地震動指標が必要である。

我が国では防災科学技術研究所(以下、防災科研)による全国規模の強震観測網(K-NET, KiK-net)が整備されている。1700 を越える地点で観測された地震動の波形記録は、地震発生後数分以内にインターネットで公開されることで、多数の地震動波形が発生後早期に入手でき、日々蓄積される膨大な地震動波形は、様々な目的で利用されている。多数波形の活用では、波形インベントリー¹⁾やクラスター分析する^{2,3)}などの検討が行われている。

一方で、特徴的な被害が生じた地域では、被害の発生要因を探るため、近傍の地震動波形を用いた分析・解析が行われる。時間をかけて分析・解析された結果や、観測点周辺の被害情報、地盤条件などをデータベース化し、地震動波形をインデックスとして種々の情報を抽出できれば、例えば地震発生後に観測された地震動波形より、被害様相を即時的に予測することが期待できる。そのためには、地震動波形に含まれる工学的特徴を的確に捉え、かつ、波形同士の類似性を評価可能なシステムの開発が必要である。

参考文献：

- 1) 田中浩平・高田毅士、既往観測波形インベントリーを用いた地震動予測のための波形選定手法の提案、日本建築学会構造系論文集、第74巻、第646号、pp.2219-2225、2009。
- 2) 宮本崇・本田利器、Jensen-Shannon divergence を用いた構造物の非線形応答値に基づく地震動波形の集合のクラスタリング、日本地震工学会論文集、第16巻、第3号(特集号)、pp.41-52、2016。
- 3) 能島暢呂・久世益充・高島拓也、地震動の経時特性の特徴抽出と階層的クラスタ分析による分類、日本地震工学会論文集、Vol.17, No.2, pp.128-141, 2017。

2. 研究の目的

本研究では、地震動の工学的特性を有した新たな地震動指標(特徴ベクトル)を提案し、特徴ベクトルが種々の地震動分析に活用可能であることを明らかにする。加えて、特徴ベクトルを用いた波形類似度評価手法を確立し、膨大な観測波形群(波形インベントリー)より任意の地震動特性を有した波形抽出手法を開発する。

3. 研究の方法

比較的限定された(少ないパラメータ数)で地震動波形の工学的特性を説明可能な地震動特徴量について検討する。具体的には、申請者らが提案した、正規化加速度累積パワー曲線(Husid plot)に基づいた特徴ベクトルを基に、地震動の周波数ごとの地震動パワーの時間変動を表す非正常パワースペクトルに基づいた地震動評価指標を検討する。申請者らが提案した周期別特徴ベクトル(周期 101 成分×99 次元)をさらに次元縮約する手法について検討する。検討では、後述の多数波形を対象とした分析を可能とするため、数次元～十数次元程度で表現可能な特徴量の提案を行う。

提案した新たな地震動特徴量を用いて、波形の類似度評価手法の開発を行う。多数波形を対象に、類似性の高い(地震動の工学的特性が同等の)波形抽出可能な手法を検討する。

4. 研究成果

申請者らが提案した、正規化加速度累積パワー曲線(Husid plot)に基づいた特徴ベクトルと、周期-時間軸上の振幅特性分布である非正常パワースペクトルより次元縮約された周期別特徴ベクトルから、新たな地震動特徴量を提案した。具体的には、周期別特徴ベクトルより密度分布を推定した。さらに、これをより次元縮約可能な特徴量とすること、また、多数波形への適用を念頭に、周期別特徴ベクトルより算出した密度分布を用いて、多数波形の密度分布に対してモード分解手法を適用し、分布特性(モード形状)と各波形の特徴量(主成分得点)に分解する手法を提案した。

提案した手法を2011年東北地方太平洋沖地震の観測波形に適用した結果、モード分解により

得られる主成分得点とモード形状より，モード 9 程度で周期別特徴ベクトル(密度分布)の特徴を捉えることが可能であることと，主成分得点の比較により波形類似度の評価が可能であることを示した．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 高橋幸宏・能島暢呂・香川敬生	4. 巻 Vol.78, No.4
2. 論文標題 特異値分解解析に基づく水平2成分の地震動分布シミュレーション	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集A1	6. 最初と最後の頁 pp.1_445-1_458
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2208/jscejseee.78.4_1_445	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 高橋幸宏・能島暢呂・香川敬生	4. 巻 Vol.78, No.4
2. 論文標題 地震動分布のモード分解と機械学習による周期・成分別の空間特性の分析	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集A1	6. 最初と最後の頁 pp.1_478-1_493
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2208/jscejseee.78.4_1_478	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 Kuse, M. and Nojima, N.	4. 巻
2. 論文標題 Feature Extraction and Analysis of Earthquake Motion	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 River Basin Environment: Evaluation, Management and Conservation	6. 最初と最後の頁 pp.331-342
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-981-19-4070-5_15	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 -
1. 著者名 能島暢呂・横山太郎	4. 巻 Vol.78, No.4
2. 論文標題 直交水平2成分を用いて定義される強震動指標の比率分布の確率デルの体系化	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集A1	6. 最初と最後の頁 pp.1_98-1_116.
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2208/jscejseee.78.4_1_98	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 能島暢呂・横山太郎	4. 巻 Vol.77, No.4
2. 論文標題 直交水平2成分を用いて定義される強震動指標の相互関係の確率論的考察	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集A1	6. 最初と最後の頁 I_128-I_138
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejsee.77.4_I_128	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 Muntafi, Y. and Nojima, N.	4. 巻 Vol.21, Issue 85
2. 論文標題 Seismic Properties and Fractal Dimension of Subduction Zone in Java and its Vicinity using Data from 1906 to 2020	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of GEOMATE	6. 最初と最後の頁 71-83
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21660/2021.85.j2217	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 該当する

1. 著者名 久世益充・能島暢呂・加藤有人	4. 巻 80
2. 論文標題 時間-周波数特性を考慮した地震動の特徴抽出と類似性評価手法の検討	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 土木学会論文集	6. 最初と最後の頁 n/a~
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscej.23-13109	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 土肥裕史・重野伸昭・森川信之・藤原広行・能島暢呂・岩田知孝	4. 巻 24
2. 論文標題 応答スペクトルに関する地震動ハザード評価の検討 - 地震動の応答スペクトルに関する地震動予測地図に向けて -	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 日本地震工学会論文集	6. 最初と最後の頁 1_124~1_147
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5610/jaee.24.1_124	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 Muntafi Y, Nojima N, Ikramullah I	4. 巻 1173
2. 論文標題 Study of Ground Motion Models Selection to the Concrete Frame Building Damage Probability using the 2006 Yogyakarta Earthquake Scenario	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science	6. 最初と最後の頁 012016 ~ 012016
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1755-1315/1173/1/012016	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14件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 高橋幸宏・能島暢呂・香川敬生
2. 発表標題 モード分解と機械学習に基づく地震動分布の予測モデル
3. 学会等名 日本地震工学会大会 - 2022梗概集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋幸宏・能島暢呂・香川敬生・片山大修
2. 発表標題 地震動分布の多様性を網羅するための予測シナリオの設定方法
3. 学会等名 令和4年度土木学会中部支部発表会講演概要集
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 加藤有人・久世益充・能島暢呂・高橋幸宏
2. 発表標題 時間-周波数特性を考慮した地震動の次元縮約手法と波形分析に関する検討
3. 学会等名 令和4年度土木学会中部支部発表会講演概要集
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takahashi, Y. and Nojima, N.
2. 発表標題 Approximation Representation of Observed Strong Ground Motion Distribution using Mode Synthesis of Predicted Distribution
3. 学会等名 Proc. of the 8th International Symposium on Reliability Engineering and Risk Management (ISRERM2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takahashi, Y. and Nojima, N.
2. 発表標題 Evaluation of Spatial Characteristics of Seismic Intensity Distributions using Non-negative Matrix Factorization
3. 学会等名 Proc. of the 13th International Conference on Structural Safety and Reliability (ICOSAR 2021-2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masumitsu KUSE, Nobuoto NOJIMA
2. 発表標題 Analysis of Earthquake Motion and Surface Motion using the Gaussian Mixture Model
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yukihiro TAHAKASHI, Nobuoto NOJIMA, Masumitsu KUSE
2. 発表標題 Simulation of Strong Ground Motion Distribution by Synthesis of Orthogonal Modes Decomposed from Scenario Shaking Maps
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 能島暢呂・横山太郎
2. 発表標題 直交水平2成分を用いて定義される強震動指標の比率分布の確率デルの体系化
3. 学会等名 第41回地震工学研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋幸宏・能島暢呂・香川敬生
2. 発表標題 水平2成分の地震動分布における空間的相互関係の分析
3. 学会等名 第41回地震工学研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋幸宏・能島暢呂・香川敬生
2. 発表標題 地震動分布のモード分解と勾配ブースティング決定木に基づく予測モデル
3. 学会等名 第40回日本自然災害学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋幸宏・能島暢呂
2. 発表標題 地震動分布のモード分解とランダムフォレストに基づく予測モデル
3. 学会等名 地域安全学会梗概集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 久世益充・能島暢呂・加藤有人
2. 発表標題 時間-周波数特性を考慮した地震動の特徴抽出手法の検討
3. 学会等名 第43回地震工学研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 土肥裕史・重野伸昭・森川信之・藤原広行・能島暢呂・岩田知孝
2. 発表標題 地震調査研究推進本部における地震動予測地図の取組 - 地震動の応答スペクトルに関する地震動予測地図に向けた検討 -
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 能島暢呂
2. 発表標題 地震動予測地図の情報発信と利活用
3. 学会等名 第16回日本地震工学シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2023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	能島 暢呂 (NOJIMA Nobuoto) (20222200)	岐阜大学・工学部・教授 (13701)	

6. 研究組織（つづき）

	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	杉戸 真太 (SUGITO Masata) (60115863)	岐阜大学・流域圏科学研究センター・特任教授 (13701)	

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