

令和 5 年 5 月 31 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K15075

研究課題名（和文）地震動被害高精度予測を目指したアウターライズ地震の広帯域強震動予測手法の開発

研究課題名（英文）Estimation of strong ground motion characteristics of outer-rise earthquake along the Japan-Kuril trench

研究代表者

重藤 迪子 (Shigefuji, Michiko)

九州大学・人間環境学研究院・助教

研究者番号：90708463

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：海溝外側の沈み込む前の海洋プレート内で発生するアウターライズ地震における強震動予測の高精度化を目的に、日本海溝～千島海溝周辺で発生するアウターライズ地震の震源特性の検討を実施した。同領域周辺で発生したプレート境界地震、スラブ内地震、アウターライズ地震の強震記録を対象に、S波コーダスペクトル比法およびスペクトル分離法をそれぞれ適用して震源特性を評価し、プレート境界地震と比較してスラブ内地震とアウターライズ地震の短周期地震動の強い励起傾向を確認した。また、アウターライズ地震の強震観測記録数は少ないが応力降下量は震源深さが深くなるにつれて大きくなる傾向が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

2011年東北地方太平洋沖地震以降、東北地方太平洋側の三陸沖では大規模なアウターライズ地震の発生が指摘されている。海溝外側の沈み込む前の海洋プレート内で発生するアウターライズ地震では、陸域の観測点から離れており、またその他の地震タイプと比較して、観測記録の蓄積が十分でないため、その研究例はまだ少ないのが現状であるが、その広帯域強震動特性の評価は重要である。

研究成果の概要（英文）：In order to improve the accuracy of prediction of strong ground motions for outer-rise earthquakes that occur within the oceanic plate before subduction outside the trench, we investigated the source characteristics of the outer-rise earthquake that occur around the Japan and Kuril trench. We applied the S-wave coda spectral ratio method and the spectral inversion method to evaluate the source characteristics of the plate boundary earthquake, intraslab earthquake, and outer rise earthquake that occurred around the target region. We confirmed a strong trend of short-period excitations of intra-slab and outer-rise earthquakes, compared with plate boundary earthquakes. Although the number of strong motion records of outer-rise earthquakes is limited, there was a tendency for the stress drop to increase with the focal depth.

研究分野：地震工学

キーワード：アウターライズ 千島海溝 日本海溝 震源特性 短周期地震動

1. 研究開始当初の背景

2011年東北地方太平洋沖地震以降、東北地方太平洋側の三陸沖では大規模なアウターライズ地震の発生が指摘されている (Lay *et al.* 2011). 海溝よりも海側の海洋プレート浅部で発生するアウターライズ地震は、比較的浅い領域で発生するため、主に津波による被害が想定されるが、千島列島中部沖の同一領域で連続して発生した2006年プレート境界地震 (M_w 8.3) と2007年アウターライズ地震 (M_w 8.1) の遠地記録を用いた震源過程解析に基づく震源スペクトルの比較からは、0.02~1 Hzの周波数帯域で、アウターライズ地震は相対的に M_w が小さいにも関わらず、プレート境界地震よりも高振幅であると指摘されており (Lay *et al.* 2009), また、Noguchi *et al.* (2016)は、三陸沖アウターライズ地震によって励起される周期10数秒の海洋レイリー波が長周期地震動の継続時間に及ぼすことを明らかにしている。一方で、佐藤 (2013) は、アウターライズ地震の加速度震源スペクトルの短周期レベルは、プレート境界地震と同等であり、短周期地震波の励起は主に高 Q_s 領域のスラブの伝播経路が寄与していると結論づけている。アウターライズ地震では、陸域の観測点から離れており、また他の地震タイプと比較して、観測記録の蓄積が不十分であるため、その広帯域の強震動特性についての研究例はまだ少ないのが現状である。

2. 研究の目的

東北地方太平洋沖地震以降、海底地震津波観測網が整備され、アウターライズ地震の震源域により近い地震記録が得られるようになり、またその地震活動も活発になっている。本研究では、アウターライズ地震の広帯域強震動特性の把握を目的として、日本海溝~千島海溝周辺で発生したアウターライズ地震の強震記録の分析から、その震源特性について検討する。

3. 研究の方法

日本海溝~千島海溝周辺で発生したアウターライズ地震、およびその周辺で発生した他の地震タイプのプレート境界地震、スラブ内地震における強震観測記録を対象に、(1) 地震動予測式、(2) S波コーダスペクトル比法、(3) スペクトル分離法を用いて、その震源特性を検討した。

(1) アウターライズ地震と同じくプレート内で発生するスラブ内地震を対象に、強震動予測式を用いて、広域強震動分布の特徴について検討した。2021年2月13日 (M_w 7.1, 深さ55 km) に福島県沖で発生したスラブ内地震、ほぼ同位置で2022年3月16日 (M_w 7.4, 深さ56 km) に発生したスラブ内地震、さらにその周辺で発生したスラブ内 (2011/04/07, M_w 7.1, 深さ66 km)、プレート境界地震 (2005/08/16, M_w 7.1, 深さ42 km) の4地震を対象として、Dhakal *et al.* (2010)による火山フロントの前弧側・背弧側での地震波伝播性状の差を考慮した地震動予測式を用いて、擬似速度応答の観測値と予測値を周期毎に比較し、それぞれの広域の強震動分布の減衰性状の特徴を分析した。

(2) 2007年千島列島沖アウターライズ地震 (M_w 8.1) の震源域で発生した正断層型地震の震源特性、伝播経路特性について検討した。比較対象として、同領域で発生した2006年千島列島沖プレート境界地震 (M_w 8.3) の震源域における逆断層型地震を併せて分析した。中千島で発生した地震のため、北海道に位置する防災科学技術研究所のF-net広帯域地震観測点に加えて、方位角の異なる観測点として、IRISの広帯域地震観測点で得られた記録を対象とした。地震ペアのS波コーダ部分を用いて、スペクトル比を求め、震源スペクトル比を抽出し、オメガスクエアモデル (Aki 1967) に基づく理論震源スペクトル比をフィッティングしてコーナー周波数を求め、円形クラックモデル (Brune 1970) を仮定して応力降下量 (例えば、Somei *et al.* 2014) と短周期レベル (壇ほか 2001) を推定した。

(3) 千島海溝周辺の根室沖~十勝沖で発生したマグニチュード5以上のプレート境界地震、スラブ内地震、アウターライズ地震による強震記録にスペクトル分離法 (例えば、Andrews 1986, 岩田・入倉 1986) を適用し、震源特性、伝播経路特性、サイト特性を分離した。観測震源スペクトルにオメガスクエアモデルに基づく理論震源スペクトルをフィッティングし、コーナー周波数を求め、円形クラックモデルを仮定して応力降下量と短周期レベルを推定した。防災科学技術研究所の強震観測網 K-NET・KiK-net、広帯域地震観測網 F-net の北海道~東北地方の観測点を対象とした。地表観測記録を使用し、S波部分水平動2成分のフーリエ振幅のベクトル和を使用した。解析対象周波数範囲は0.3~10 Hzとした。公開されている観測点でのPS検層結果から計算される地表から30 m深さまでの平均S波速度が700 m/s以上であり、水平動/上下動スペクトル比が高周波数側までフラットの、岩盤サイトとみなすことができる HDKH05 (KiK-net 新冠) を基準観測点として、その地震基盤から地表までの地盤増幅率を2と仮定し、さらに火山フロントの前弧側と背弧側での地震波減衰性状の違いを考慮して、連立方程式を解いた。

4. 研究成果

(1) 2021年、2022年に福島県沖のほぼ同一震源位置で発生したスラブ内地震、およびその周辺で発生したタイプの異なる地震の擬似速度応答値分布を比較した。いずれの地震に関しても、短周期帯域において火山フロントの前弧側、背弧側で減衰性状が異なり、北海道～東北日本の太平洋側前弧側での大きな応答値は既往の地震動予測式により良く説明されている。同規模の3地震で比較すると、周期0.3秒では、2011年と2021年のスラブ内地震とはほぼ同等の値ではあるが、2011年の地震で北海道東部の前弧側に大きい応答値が分布している。また、2005年のプレート境界地震においても、これらのスラブ内地震とほぼ同等の値である。佐藤(2012)では、この地震の短周期レベルは、経験的なプレート境界地震の短周期レベルのスケールリング則よりもやや高いと指摘しており、本結果と整合する。一方で、周期3秒では、2005年の地震と比較して、2021年の地震の震源距離が相対的に長い観測点で2021年の地震の応答値の方が大きく、2021年の地震の震源距離が相対的に短い地点で2005年の地震の応答値と同等となり、一般的な傾向と異なる。特に、2021年の地震では、北海道において応答値が大きい。2021年と2022年のスラブ内地震を比較すると、両者はほぼ同位置で発生し、同様のメカニズムではあるが、周期0.3秒では、2022年地震における北海道東部での応答値が大きく、周期1秒では2021年の地震において特定の領域で応答値が大きくなり、これらの応答値分布の傾向は、主に震源断層面上での破壊過程とその地震波放射特性の違いの影響が示唆される。

(2) 中千島で発生したアウターライズ地震およびその周辺で発生したプレート境界地震に対して、S波コーダスペクトル比法を適用してコーナー周波数を推定し、応力降下量と短周期レベルを求めた。観測点と震源の位置関係によって減衰傾向が異なるものの、安定した値が求まった。アウターライズ地震の短周期レベルは、同規模のプレート境界地震に比べ、大きい傾向を明らかにした。今後、日本海溝において、海域の観測点を含めて検討を継続する。

(3) 根室沖～十勝沖で発生した地震を対象にスペクトル分離した結果、伝播経路特性、サイト特性は、既往研究結果(例えば、野津・長尾 2005, Morikawa and Sasatani 2000)と調和的な結果が得られており、安定した結果が得られていることを確認している。震源深さと応力降下量の関係は、深くなるにつれて応力降下量が大きくなる傾向があり、弱い相関が認められる。これは、プレート境界地震およびスラブ内地震に比べて対象とした地震数は少ないが、アウターライズ地震も同様の傾向を示唆しており、解析結果を蓄積が必要である。アウターライズ地震とプレート境界地震およびスラブ内地震を比較すると、アウターライズ地震における地震モーメントと短周期レベルの関係は、スラブ内地震と概ね同程度であり、プレート境界地震よりも平均2倍程度大きく推定され、短周期励起の強い傾向を確認した。佐藤(2003)による中小地震を対象としたスペクトルインバージョンによる短周期レベルと比較すると、本研究の結果は、プレート境界地震とスラブ内地震ともに、やや高い値となった。

<引用文献>

- Aki, K.: Scaling law of seismic spectrum. *J. Geophys. Res.*, 72, 1217-1231, 1967.
- Andrews, D.J.: Objective Determination of Source Parameters and Similarity of Earthquakes of Different Size, in *Earthquake Source Mechanics*, Geophysical Monograph Series, 37:259-267, 1986.
- Brune, J.N.: Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes, *J. Geophys. Res.*, 75(26), 4997-5009, 1970.
- 壇一男, 他: 断層の非一様すべり破壊モデルから算定される短周期レベルと半経験的波形合成法による強震動予測のための震源断層のモデル化, *日本建築学会構造系論文集*, 66, 545, 51-62, 2001.
- Dhawal Y. P. *et al.*: Empirical analysis of path effects on prediction equations of pseudo-velocity response spectra in northern Japan, *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, 39, 443-461, 2010.
- 岩田知孝, 入倉孝次郎: 観測された地震波から、震源特性・伝播経路特性及び観測点近傍の地盤特性を分離する試み, *地震 第2輯*, 39, 579-593, 1986.
- 野津厚, 長尾毅: スペクトルインバージョンに基づく全国の港湾等におけるサイト増幅特性, *港湾空港技術研究所資料*, No.1112, 2005.
- Morikawa N., Sasatani T.: The 1994 Hokkaido Toho-oki earthquake sequence: the complex activity of intra-slab and plate-boundary earthquakes, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 121, 39-58, 2000.
- Noguchi S. *et al.*: Ocean-influenced Rayleigh waves from outer-rise earthquakes and their effects on durations of long-period ground motion, *Geophys. J. Int.*, 205, 1099-1107, 2016
- Lay T. *et al.*: The 2006-2007 Kuril Islands great earthquake sequences. *J. Geophys. Res.*, 114, B11308, 2009.
- Lay T. *et al.*: Outer trench-slope faulting and the 2011 MW 9.0 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. *Earth Planets Space*, 63, 713-718, 2011.
- 佐藤智美: 中小地震の応力降下量の断層タイプ・源深さ依存性及び地域性に関する研究, *土木学会地震工学論文集*, 27, 2003
- 佐藤智美: 経験的グリーン関数法に基づく2011年東北地方太平洋沖地震の震源モデル・プレート境界地震の短周期レベルに着目して, *日本建築学会構造系論文集*, 77, 695-704, 2012.
- 佐藤智美: 東北地方のアウターライズ地震、スラブ内地震、プレート境界地震の短周期レベルと f_{max} 及び距離減衰特性, *日本建築学会構造系論文集*, 78, 1227-1236, 2013
- Somei K. *et al.*: Source Scaling of Inland Crustal Earthquake Sequences in Japan Using the S-Wave Coda Spectral Ratio Method, *Pure Appl. Geophys.*, 171, 2747-2766, 2014.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 高井伸雄・重藤迪子
2. 発表標題 2021年2月13日福島県沖の地震と周辺で発生した同規模の地震との広域強震動分布の比較
3. 学会等名 日本建築学会2021年度大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nobuo Takai・Michiko Shigefuji
2. 発表標題 Site effect at heavy damaged area during the 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake
3. 学会等名 The 6th IASPEI / IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中翔真・重藤迪子・神野達夫・高井伸雄
2. 発表標題 2018年北海道胆振東部地震の震央南西部の高震度観測点における地盤増幅特性
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中川尚郁・高井伸雄・重藤迪子
2. 発表標題 2018年北海道胆振東部地震の余震記録を用いたK-NET鶴川観測点における地盤増幅特性
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高井伸雄・中川尚郁・重藤迪子・田中翔真・神野達夫
2. 発表標題 余震・微動観測に基づく2018年北海道胆振東部地震の大速度観測地域の地盤振動特性
3. 学会等名 第48回地盤震動シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中翔真・重藤迪子・神野達夫・高井伸雄
2. 発表標題 2018年北海道胆振東部地震の震央南西地域の高震度地点における微動アレイ観測
3. 学会等名 2019年度日本建築学会九州支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高井伸雄・重藤迪子
2. 発表標題 2021年2月13日と2022年3月16日に発生した福島県沖の地震の広域強震動分布の比較
3. 学会等名 日本建築学会2022年度大会
4. 発表年 2022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
研究協力者	高井 伸雄	北海道大学・工学研究院・准教授	
	(Takai Nobuo)	(10101)	

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