

2016年福島県沖の地震の震源過程と断層面上の応力変化

Rupture process of the 2016 Fukushima-ken oki earthquake and stress change on the fault

*吉田 邦一¹

*Kunikazu Yoshida¹

1. 一般財団法人 地域 地盤 環境 研究所

1. Geo-Research Institute

●はじめに

福島県の太平洋沖で、2016年11月22日5時59分にMj7.4の地震が発生し、最大震度5強が福島県内で観測されたほか、東北地方の太平洋沿岸で津波が観測された。この地震の震央域では、1938年に塩屋崎沖地震群が発生している。塩屋崎沖地震群では、プレート間地震とスラブ内地震が発生したとされており、海域の地殻内地震である2016年の地震とは異なる。本研究では、2016年地震の震源過程を求め、さらに差分法により震源断層面上での応力変化を求めた。

●速度構造モデル

まず、速度構造モデルを、余震の波形を合わせるように調整した。初期モデルとして、J-SHISモデルやこの地域で行われた微動探査の結果（染井・他、2014, 2017）を参考にしながら設定した。震源近傍では、天然ガス探査の調査結果の一部が公表されており（岩田・他、2002）、それを参考に浅部の構造を設定した。上部マントルまでの深部構造は、屈折法による探査（Miura et al., 2003; Shinohara et al., 2012）を参照した。これらの情報を参照して、初期構造モデルを設定した。波形モデリング解析では、P波到達時刻から15～22秒間の3成分速度波形をフィッティング対象とした。具体的な探索手順は、Yoshida et al. (2017, EPS)に従ったが、低速度層が生成されにくくなるようなペナルティを与えた。この解析を、震源過程の解析に使う全観測点について行い、観測点ごとの速度構造モデルを得た。

●震源過程

求めた速度構造モデルを用いて、震源過程を求めた。解析には、防災科研K-NETおよびKiK-net（地中）の加速度記録を用いた。加速度記録には周期3-20秒（0.05-0.3 Hz）のバンドパスフィルターをかけたうえで積分して、速度波形とした。解析には、P波到達時から40秒間を用いた。理論グリーン関数は、離散化波数法（Bouchon, 1981）と反射・透過係数行列法（Kennett and Kerry, 1979）により求めた。断層面を空間方向には小断層に分割し、時間方向には1.25秒間隔でパルス幅2.5秒のスムーズランプ関数を5個並べて、時空間的に離散化して、理論波形を計算した。逆解析にはマルチタイムウィンドウインバージョン法（Hartzell and Heaton, 1983）を用いた。断層面の平滑化係数はABIC最小を示す震源モデルのものとした。第1タイムウィンドウ伝播速度 V_{F} を1.8～2.6 km/sの範囲で震源モデルを求め、残差が極小となった2.2 km/sのものを最適解とした。すべり角は $270^\circ \pm 45^\circ$ の範囲で求めた。

解析により得られた結果は、断層面全体の M_0 が 2.4×10^{19} Nm (Mw 6.9)、最大すべり量が2.1 m、平均すべり量は0.8 mであった。Somerville et al. (1999)の基準で、1つのアスペリティが破壊開始点の南西側浅部に求められた。このアスペリティは、破壊開始後約10～20秒にかけて破壊が進展していた。すべり角は 270° の正断層であった。

得られた震源モデルをもとに、0.3 Hz以下を説明する特性化震源モデルを作成した。アスペリティの位置はすべり量をもとに設定し、背景領域とアスペリティのパッチ1つからなるモデルとした。モーメント分布は、インバージョン結果の各領域での平均値を与えた。滑り時間関数には修正Yoffe関数を与え、ライズタイムやピークタイムはインバージョン結果から求めた（吉田、2017、地震学会）。ただし、震源モデルが周期3秒以上でできているため、ライズタイムが3.7～5.0秒に対し、ピークタイムは1.5～2秒程度であり、全体的な形状はスムーズランプ関数に近い形状となった。合成波形は、おおむね観測波形を説明できる結果が得られた。

●差分法による応力計算

求めた震源モデルを境界条件として、差分法で断層面上の応力の変化を求めた。差分法の計算では、震源モデルをバイキュービック補完し、0.4 km×0.4 kmの点震源を分布させ、傾斜角48°で設定した。差分法の計算格子間隔は、震源の点震源間隔と揃うように設定した。速度構造モデルは、震源モデルのインバージョンで用いた地殻構造モデルを一部修正して用いた。

計算の結果得られた動的応力降下量は、アスペリティの平均で約4 MPa、断層面全体で約3 MPaであった。また、初期応力から応力がいったん上昇し、破壊強度を超えたところで断層面が滑り始めて応力が低下するすべり弱化則を念頭に、応力の最大値が出現する時間を破壊開始とみなして破壊伝播速度を求めた。全体的には概ね2 km/s前後で広がる同心円状破壊を示すが、アスペリティでは破壊速度が変化する傾向が見られた。

謝辞 防災科研K-NET, KiK-netのデータを用いました。本研究は、平成29年度原子力施設等防災対策等委託費（内陸型地震による地震動の評価手法の検討）業務による成果の一部である。

キーワード：2016年福島県沖の地震、震源過程、特性化震源モデル、応力降下量

Keywords: The 2016 off Fukushima earthquake, rupture process, characterized source model, stress drop