Spatial and temporal variations in interplate coupling along the Tohoku-Oki plate boundary deduced from a new method using off-fault earthquakes and geodetic data

*Kazutoshi IMANISHI[1], Akemi Noda[2]

1. Geological Survey of Japan, AIST, 2. Meteorological Research Institute

1. はじめに

プレート境界における巨大地震の発生時期や規模を予測するためには、プレート境界の固着状態をモニタリングすることが重要である。通常は地殻変動データをもとに推定されるが、地震データも組み合わせた解析を行うことで、高い時空間分解能を持つ固着状態の推定が期待できる。本研究では、プレート境界の周辺で発生している地震（オフフォルト地震）がプレート間固着による応力変化に調和的に発生しているか否かを評価し、直近のプレート境界の固着状態を推定する方法を提案する。そして、この手法を東北沖プレート境界に適用した結果について報告する。

2. 手法

本手法の背景にある基本的な考え方は以下の通りである。

・応力場は、背景応力にプレート間固着による応力蓄積が加わったものと記述される。
・地殻内には様々な姿勢の既存クラックがあり、それらの多くが応力の臨界状態にある。
・背景応力に調和的なクラックでも破壊は生じるが、プレート間固着に起因する応力場（応力変化）に調和的なクラックが優先的に破壊する。

プレート間固着に起因する応力場から計算されるすべり角と断層面のすべり角との角度差（ミスフィット角）に着目すると、プレート間固着が継続する場合はミスフィット角の小さい地震が多く発生することが期待され、逆にゆっくりすべり等により固着が剥がれる場合は、ミスフィット角の大きい地震が多く発生することが期待される。従って、ミスフィット角の時空間平均を推定することで、直近のプレート間固着状態の変動を可視化することができる。

実際の解析手順は以下の通りである。

（1）プレート間固着により周辺域に作り出される応力テンソルを水平方向に0.1°間隔、深さ方向に5km間隔で計算する。
（2）それぞれのメカニズム解の震源位置に最も近い位置の応力テンソルを用いて、ミスフィット角を計算する。この際、2つの節面のうち、小さい方のミスフィット角を採用する。
（3）空間方向に0.1°間隔のグリッドを設定する。グリッドを中心とした半径75km以内、1年以内に含まれる地震を抽出し、ミスフィット角の平均値を計算する。

3. データ

データとなるメカニズム解は、防災科学技術研究所のF-net解（1997年1月～2021年7月）を使用した。デクラスタリング（Reasenberg, 1985）処理後、代表的なプレート境界地震のメカニズム解に対するKagan角を元にプレート境界型の地震を除去し、オフフォルト地震のカタログを作成した。また、プレート間固着に関しては、1998年3月から2008年2月のGNSSデータを用いて推定した。

4. 結果と解釈

本研究では2011年東北沖地震を挟む約24年間にわたる解析結果が得られた。ミスフィット角は時間的にも空間的にも複雑な挙動を示すが、特定の場所に着目すると、ある程度の周期性を持ちながら変動している。Uchida et al.(2016)は小繰り返し地震と地殻変動データから、およそ1～6年の周期を持つゆっくりすべりの存在を報告しているが、本研究の結果はそれと概ね調和的である。また、プレート境界型の地震はミス

© The Seismological Society of Japan

フィット角が小さい時（固着継続時）に発生する傾向があり、本手法の妥当性が伺える。

東北沖地震発生前に着目すると、東北沖地震の大すべり域（アスペリティ）内のミスフィット角は小さく、基本的に固着し続けていたと推定される。また、その周囲ではミスフィット角の大きい時期が間欠的に発生しており、周囲のゆっくりすべりにより応力が繰り返しアスペリティ内に載荷されていたことも予想される。アスペリティ内をさらに詳細にみると、2001年7月から10月、2005年8月から10月、2008年8月から2009年3月、2010年8月、そして東北沖地震発生前に、ミスフィット角の大きい時期が確認できる。このうち、一部は先行研究（e.g., Ito et al., 2013）により報告されているゆっくりすべりの発生時期と重なっている。今後慎重な検討が必要であるが、徐々に発生間隔が短くなっている傾向があり、アスペリティ内での固着の剥がれが加速的に進行していた可能性がある。

東北沖地震発生後は広い範囲でミスフィット角が90°を超えるようになる。これは本震による応力変化に調和的なクラックで破壊が生じているためと考えられ、正断層型の余震が多く起きている観測事実（Asano et al., 2011）からも理解できる。一方、三陸沖と茨城県沖では本震後も小さいミスフィット角を維持しており、固着が継続していると解釈できる。それに加えて、本震すべりによる応力載荷の寄与もあると考えられ、地震発生ポテンシャルの高い地域として注意が必要であろう。

謝辞：防災科学技術研究所のF-netカタログ、国土地理院のGEONET F3解を使用しました。記して感謝します。

© The Seismological Society of Japan