

伸張性ステップを有する断層の動的破壊シミュレーション：開口に伴う非 DC 成分の評価
 Dynamic Rupture Simulation on a Fault With a Dilatational Step: Evaluation Of
 Non-Double-Couple Seismic Moment Associated With an Opening Crack

○栗原悠宇希・野田博之

○Yuuki KURIHARA, Hiroyuki NODA

Recently, some events with isotropic (ISO) components were observed. For example, Stierle et al. (2014) reported some aftershocks of the 1999 Izmit, Turkey, earthquake which have more than 15 % ISO components. In this study, we investigated how we can reproduce a rupture with a non-negligible ISO component in a dynamic rupture simulation. In our simulation, we used Boundary Integral Equation Method (BIEM), which can handle mixed-mode rupture stably. First, to validate the accuracy of our calculation method, we solved benchmark problems TPV14&15 2-D which were defined by SCEC code verification project, and compared our result with those produced with other methods. Second, we simulated dynamic ruptures on a fault with a step and evaluated the ratio of the ISO component.

1. はじめに

近年、非火山性の地震に関してモーメント解に体積変化を表す等方 (ISO) 成分を多く持つ震源の存在が示唆されている。例えば Stierle et al. (2014) では、1999 年に発生したイズミット地震の震源域において ISO 成分が 15% を超える余震が捉えられたと報告されている。

本研究においては、混合 Mode の動的破壊シミュレーションを用いて、開口を伴う断層破壊を再現し、顕著な ISO 成分を持つモーメントテンソルが再現できるかを調べた。

2. 計算手法

計算には 2 次元の境界積分方程式法を利用した。断層形状を仮定し、初期条件として応力分布を設定し、断層上の各要素で滑り速度と応力が相互に関連して時間発展する様子を計算する。区分的に一定値を取る関数で離散化した滑り速度から応力変化を求めるために Tada & Madariaga (2001) で示されている積分核を利用した。また、時間発展の手法には Noda & Lapusta (2010) で利用されている予測子-修正子法を利用した。

この計算手法の特色は、非平面断層を扱える点、また混合 Mode での安定的な計算が実現されたことにより、剪断方向だけでなく開口方向の変位を持つ破壊が扱える点である。

3. 計算プログラムの検証

非平面断層を扱う場合、解析解の知られておりプログラムの検証に利用できる適切な問題が存在しない。開発したプログラムの検証の為に、The SCEC/USGS Spontaneous Rupture Code Verification Project (Harris et al., 2009) を利用した。ベンチマーク問題として定義されている TPV14, 15 2-D を、先述した手法で解いた結果と、他の計算手法で解いた結果 (Web ページ上で共有されている) を比較した。

TPV14, 15 2-D は junction point で 2 枚の断層が斜めに接合した非平面断層を対象とした問題であり、それぞれ右横ずれ断層と左横ずれ断層に対応する。

断層上のいくつかの観測点において、滑り速度や応力の時間発展を各手法と比較した結果、時間変化の概形や特徴的なタイミング (破壊がある観測点に到達する時間、滑り速度が最大になる時間など) がおおむね合致していたため、計算プログラムには問題が無いことが分かった。

4. ステップを有する断層の設定

動的破壊をシミュレーションする際、Fig1. のように、平行な 2 枚の断層 (Y 面) が斜交した断層 (ステップ、R 面) によって繋がっている形状を想定した。

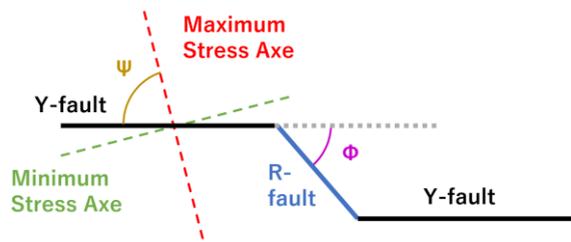


Fig1. ステップ断層の形状

断層の交差する角度(Φ)を決定するにあたっては Otsuki & Dilov (2005) を参考にして、 $\pm 26^\circ$ および $\pm 64^\circ$ とした。これらは、剪断滑りによって生じる副次的な剪断面である、リーデル剪断面の R1 面と R2 面にそれぞれ対応していると考えている。

摩擦係数を決定するにあたっては The SCEC/USGS Spontaneous Rupture Code Verification Project および Bhat et al. (2004) を参考にした。

また、広域応力場を設定するにあたっては Andrews (1976) で定義されている S 値に着目した。S 値は破壊の進行しにくさを、破壊が生じるために必要な剪断応力の増加と、破壊が生じたときの応力降下量の比で表現したものであり、この値が小さいほど破壊が進行しやすい。

5. 結果

まず、 Φ を 26° とし、ステップが伸張性になるよう応力を設定した。断層の左端付近で核形成が生じ、そこから自発的破壊が始まると仮定し、最大応力軸の角度(Ψ)と S 値をパラメータとして様々な状況下での破壊をシミュレーションした。しかし、いずれの場合においても、ISO 成分はほとんど得られなかった。

そこで、核形成の位置を断層左端からステップ部分に移すと同時に、パラメータを最大応力軸の

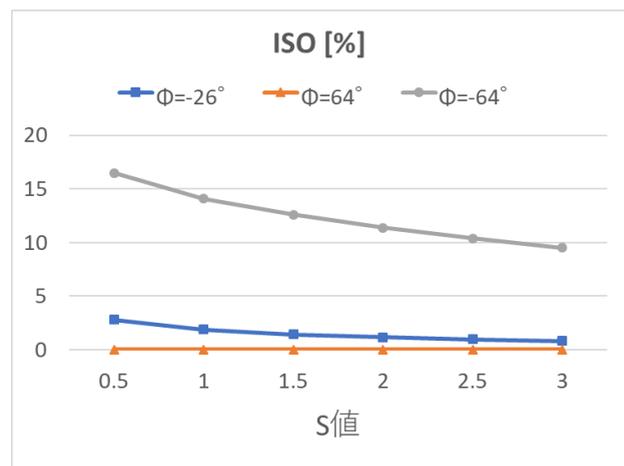


Fig2. パラメータスタディの結果
(各折れ線グラフは Φ の違いに対応する)

角度(Ψ)から、断層の交差する角度(Φ)に変更し、再度パラメータスタディを行った。その結果、Fig2. のように、条件によっては ISO 成分が 15% を超える結果が得られた。

今後はより多様なパラメータを用いてシミュレーションを行い、開口が生じる条件について明確に示すことを目指す。

6. まとめ

いくつかの観測例が報告されている、顕著な ISO 成分を持つ地震を動的破壊シミュレーションによって再現できるか試みた。シミュレーションには BIEM を利用し、混合 Mode での計算が安定して行えるようになったことで、開口を含む破壊のシミュレーションが可能になった。

まず、開発したプログラムの妥当性を調べるため、The SCEC/USGS Spontaneous Rupture Code Verification Project を利用して、既存の計算手法と近い解が得られることを確認した。

続いて、ステップを有する断層についてパラメータスタディをした結果、いくつかの例においては、顕著な ISO 成分が得られることが確認できた。