

粘弾性媒質中の地震サイクルにおける断層強度不均質による影響
The influence of fault-strength heterogeneity on earthquake cycle in a viscoelastic medium

○山本誠・野田博之

○Makoto YAMAMOTO, Hiroyuki NODA

Viscoelastic properties of rocks change depending on the depth and the rock type. Miyake and Noda (2019) developed fully dynamic earthquake sequence simulation of a fault in a viscoelastic medium and investigated behavior of fault. However, they assumed uniform fault strength at a reference slow slip rate so that its heterogeneity was not considered. This study use earthquake sequence simulation by Miyake and Noda (2019) to examine the effect of contrast in the fault strength Δf_0 between rate-weakening strong segments and rate-strengthening weak segments. We put our focus on the earthquake interval as a function of Δf_0 and relaxation time t_c of the viscoelastic medium. As a result, we found that large Δf_0 and small t_c time lead the rate-weakening segment to be permanently stuck. The boundary in the parameter space between the permanent stick and seismogenic behaviors is likely to be independent of rate-dependency parameters of the friction law if properly nondimensionalized.

1. はじめに

岩石の粘弾性の程度が深さやその種類に依存して変化する。Miyake and Noda (2019) は、粘弾性媒質中での2次元の動的地震サイクルシミュレーション手法を開発し、粘性緩和の時定数 t_c の変化によって地震性 (EQ) -永久固着 (Stuck) 遷移が起こることを報告した。この研究では単純化のために基準滑り速度における摩擦係数 f_0 を一様と仮定しているが、Ikari et al. (2011) によると f_0 は断層の固着域とその周りで違っている可能性が高い。本研究ではこのような強度の差が粘弾性媒質中の断層挙動に対して与える影響を調べる。

2. 手法

Miyake and Noda (2019) が開発した手法を用いる。慣性の影響まで含めた面外問題の断層の動的破壊を考える。この手法では境界積分方程式法を用いるが、スペクトル法、高速フーリエ変換を組み合わせて計算を効率化している。

2 km 間隔で周期境界を設定し、速度弱化域を中央に設置、その外側を速度強化域とした (図1)。

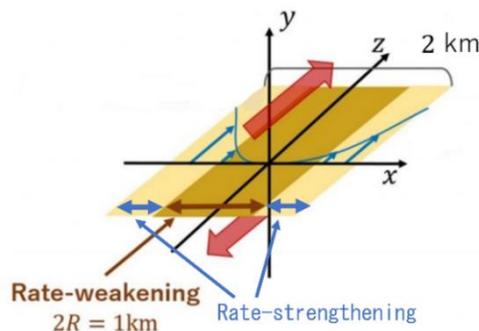


図1. モデル設定 (Miyake and Noda (2019)を一部改変。)

断層面には速度状態依存摩擦則 (Aging law) を適用した。摩擦係数については、速度弱化を示す鉱物は Byerlee 則に従う値 (~ 0.6) を示すのに対し、粘土などの速度強化を示す鉱物には小さな値を示すものも存在する (e.g., Ikari et al., 2011)。これを参考に、速度強化域では $f_0^{(rs)} = 0.6$ 、速度弱化域では $f_0^{(rw)} = f_0^{(rs)} - \Delta f_0 = 0.3 \sim 0.6$ とした (図2 (a))。 f_0 は基準とする滑り速度 $V_0 = 10^{-9}$ [m/s] における定常状態の摩擦係数である。 $f_0^{(rw)}$ をパラメータとして変化させ、断層挙動への影響を見る。なお媒質が線形弾性体の場合、 f_0 の分布は滑

り速度の時空間分布に影響を及ぼさない。媒質が粘弾性体の場合応力不均質の緩和のため、 f_0 の分布が断層の長期的挙動に影響する。これを踏まえて断層強度の不均質の影響と関わりがあると考えられる緩和の時定数 t_c もパラメータとし、载荷の時定数 t_{load} で無次元化して変化させる。断層は f_0 の平均に対応する遠地応力で駆動したが、弾性の場合 $V_{load} = 10^{-9}$ [m/s] の様な定常解が存在する。 t_{load} は V_{load} に対応する速度弱化パッチへの载荷の時定数である。摩擦パラメータ a, b の分布については、今回新たに設定した粘土鉱物を想定したもの（ケース1）と Miyake and Noda (2019) と同様のもの（ケース2）の二種類を比較した。

3. 結果、議論

2種類の a, b の分布でそれぞれ $f_0^{(rw)}$, t_c/t_{load} の2次元のパラメータスタディを行い地震再来間隔を調べた結果、図2が得られた。ケース1、ケース2、どちらの a, b 分布においても、 $f_0^{(rs)}$, t_c を変化させると EQ - Stuck 遷移が起こることが分かった。 a, b の分布によって t_c/t_{load}

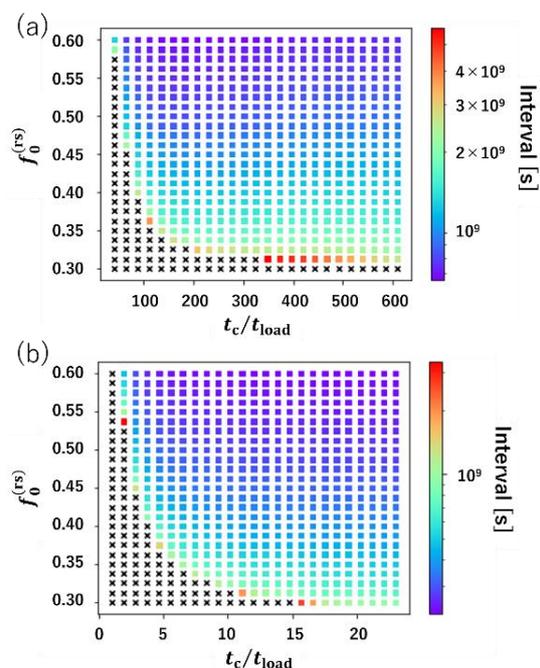


図2. 地震再来間隔の $f_0^{(rs)}$ と緩和時間への依存性。(a)ケース1、(b)ケース2。黒い×は永久固着。

のスケールが1桁以上異なっている。

断層強度が不均質な場合、滑り速度が V_{load} で一様な定常解は存在せず、これを载荷速度のスケールとして採用するのは問題がある。速度強化域の滑りが速度弱化パッチへの载荷となる。その中央でのリミットサイクル中の最低速度（Stuck の場合は単に最低速度）を用いて、 t_{load} を再定義した $t_{load}^{(new)}$ で t_c を無次元化すると、図3のスケールの違いはほぼ解消された（図3 (a), (b)）。

4. まとめ

Miyake and Noda (2019) が開発した粘弾性媒質中での2次元の動的地震サイクルシミュレーションを用い、速度弱化パッチと速度強化域の断層強度の差の影響を調べた。強度差と粘性緩和の時定数の2次元でパラメータスタディを行い地震再来間隔を調べた結果、二つのパラメータどちらにおいてもその変化によって EQ - Stuck 遷移が起こることが分かった。また、適切な無次元化を行えば、摩擦パラメータ a, b の分布によらず、断層強度の違いをある程度統一的に説明できることがわかった。

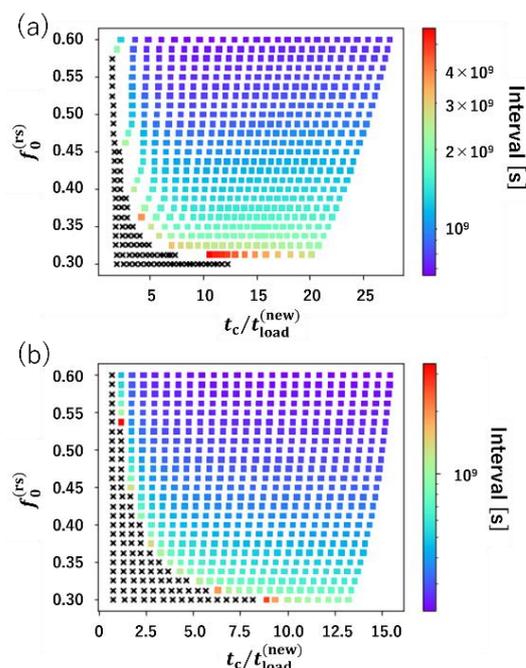


図3. t_{load} を再定義 ($t_{load}^{(new)}$) した結果。(a) ケース1、(b) ケース2。黒い×は永久固着。