

Ⅲ 科学研究費補助金

Ⅲ-1 沈み込みプレート境界で発生するゆっくりすべりのモデル化

Modeling slow slip events at the subduction plate interfaces

(研究期間 平成 17~19 年度)

国際地震工学センター

International Institute of Seismology and Earthquake Engineering

芝崎文一郎

Bunichiro Shibazaki

We developed a model for short-term SSEs by considering the frictional behavior that was experimentally confirmed by Shimamoto using halite for the unstable–stable transition regime. Under conditions where the pore-fluid pressure is nearly equal to the lithostatic pressure and the critical weakening displacement is very small, short-term SSEs with propagation velocities and slip velocities of 4–8 km/d and $2\text{--}4 \times 10^{-7}$ m/s, respectively, can be reproduced. The results indicate that the propagation velocity of short-term SSEs is in proportion to the slip velocity. This relationship holds for observed short-term SSEs.

【研究目的及び経過】

最近の高精度地殻変動観測により、南海トラフやカスケード沈み込み帯深部においてゆっくりすべり（スロースリップイベント）が発生していることが明らかにされている。スロースリップイベントの発生機構を明らかにすることは、その上部で発生する巨大地震の応力蓄積機構を明らかにする上で、本質的に重要である。本研究では、遷移領域の摩擦を考慮することで、短期的スロースリップイベントのモデル化を行ったので報告する。

【研究内容】

本研究では短期的スロースリップイベントを再現するために、下記の三つの仮定を設ける（Shibazaki and Shimamoto, 2007）。

- (I) 沈み込み帯深部において、遷移的な摩擦挙動を示し、低すべり速度ではすべり速度弱化、高すべり速度ではすべり速度強化を示す。
- (II) 沈み込み帯深部で、間隙水圧が静岩圧に近いため有効圧が小さく、スロースリップイベントの応力降下量が非常に小さい。
- (III) 有効圧が小さいことを反映して、臨界相対変位量が非常に小さい。

本モデル化では、低すべり速度ですべり速度弱化、高すべり速度ですべり速度強化を示す摩擦特性を再現するために、遷移効果に対して、カットオフ速度を有するすべり速度と状態変数に依存する摩擦構成則を用いる。この摩擦構成則では、摩擦係数 μ は以下のようにすべり速度 v と状態変数 Θ に依存する。

$$\mu = \mu_* - a \ln \left(\frac{v_1}{v} + 1 \right) + b \ln \left(\frac{v_2 \Theta}{D_c} + 1 \right) \quad (1)$$

μ_* は摩擦係数の基準値である。状態変数 Θ の時間発展は次式に従う。

$$\frac{d\Theta}{dt} = 1 - \frac{\Theta v}{D_c} \quad (2)$$

D_c は臨界相対変位量である。(1)式の第 2 項は直接効果、第 3 項は新しい状態に遷移する効果を表す。 v_1 と v_2 はそれぞれの効果に対するカットオフ速度である。摩擦力 τ は有効圧 σ_n^{eff} に比例し、

$$\tau = \mu \sigma_n^{eff} = \mu (\sigma_n - P_f) \quad (3)$$

と表現される。有効圧 σ_n^{eff} は、法線応力 σ_n と間隙水圧 P_f との差である。定常状態での摩擦係数は下記のように表現される。

$$\mu_{ss}(v) = \mu_* - a \ln \left(\frac{v_1}{v} + 1 \right) + b \ln \left(\frac{v_2}{v} + 1 \right) \quad (4)$$

遷移領域では、 $v_2 \ll v_1$ と仮定する。この場合、 $v < v_2$ では $\mu_{ss}(v)$ はすべり速度 v と共に減少し、 $v_2 < v < v_1$ ではすべり速度 v と共に増大する。

本研究では、図 1 に示す半無限弾性媒質中におけるスラスト型の平面断層を仮定して、短期的スロースリップイベントの再現を行った。断層面でのせん断応力は、断層面でのすべりのプレートの相対運動からの遅れにより増大すると仮定する。そして、断層面でのせん断応力が摩擦力と等しくなるように解を求める。カットオフ速度 v_2 は $10^{-6.5}$ m/s に設定する。28km 以深、36km 以浅がスロースリップイベントの発生する領域で、 $d\mu_{ss}/d \ln v$ は低すべり速度では負ですべり速度強化、高すべり速度では正ですべり速度強化である。シミュレーションでは、スロースリップが発生する領域で、間隙水圧が非常に高く有効圧が 1MPa と非常に小さいことと、

臨界相対変位量が 1mm 程度と非常に小さいことを仮定する。

【研究結果】

図 2 がシミュレーション結果で、スロースリップイベントに対してすべり速度の時空間分布を示す。周期的境界条件を仮定しているために、スローイベントが断層の端に到達すると反対側の端から中心に向かって伝播する。2-4×10⁻⁷m/s のすべり速度で、4-8km/d で伝播するスロースリップイベントが再現されている。イベントの継続時間はおよそ 0.1 年で、1.2-1.3 年間隔で発生する。本モデル化により、カスケード沈み込み帯で発生するスロースリップイベントの再現が可能であることを示された。また、パラメーターの値を変えることで、西南日本沈み込み帯で発生するスロースリップイベントの再現も可能である。

短期的スロースリップイベントの伝播速度はおよそ 10km/d である。このような伝播速度が何により決まるのかは重要な問題である。Shibazaki and Shimamoto (2007) は、すべり速度と局所的な伝播速度の間の関係を調べ、比例関係が存在することが見出した。本研究の成果により、南海トラフ深部で発生するスロースリップイベントのモデル化により、浅部で発生する巨大地震の応力蓄積過程のモデル化が可能になった。

本研究では、この他、ダイラタンシーの効果を検討したモデル化（芝崎, 2005）により、すべり速度の増大と共に、ダイラタンシーハードニングが起こり、スロースリップイベントが起こることを示した。

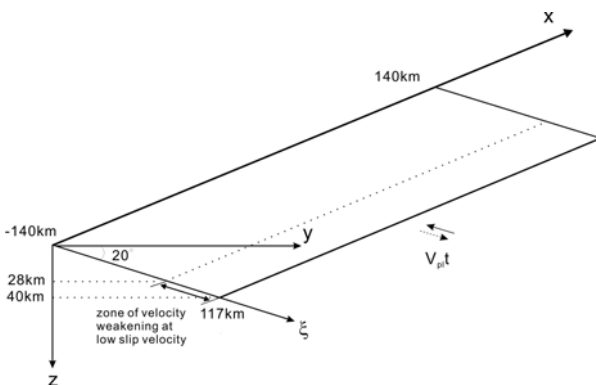


図 1 沈み込みプレート境界を想定した断層。28km 以深がスロースリップイベントの発生領域である。

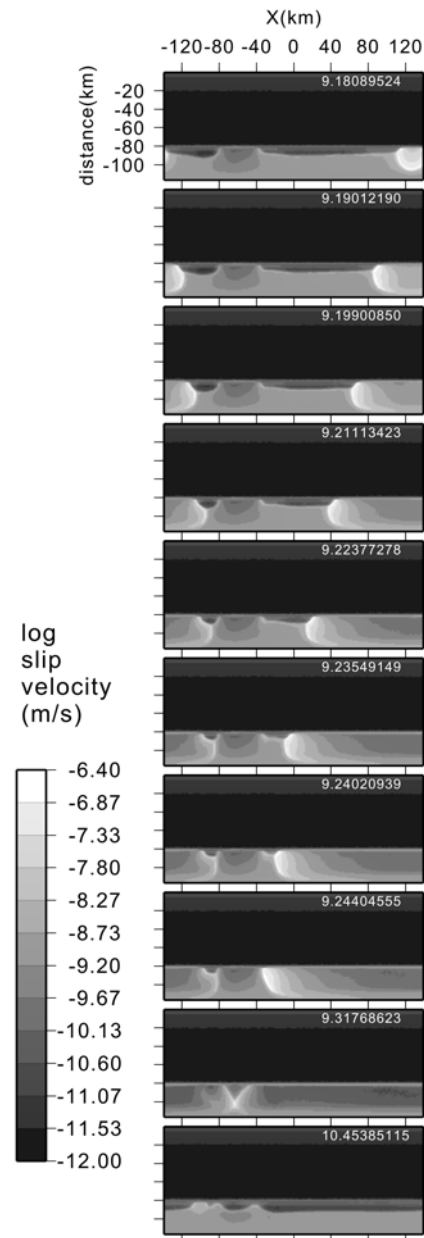


図 2 スロースリップイベントに伴うすべり速度の時空間変化。数字は経過時間（年）を示す。

【参考文献】

- 1) 芝崎文一郎, ダイラタンシーによる間隙水圧の変動を考慮した地震発生過程のモデル化, 地学雑誌, 115, 309-325, 2006
- 2) Shibazaki, B., and T. Shimamoto, Modelling of short-interval silent slip events in deeper subduction interfaces considering the frictional properties at the unstable-stable transition regime, Geophys. J. Int., 171, 191-205, 2007.