

I-585 質点バネモデルによる地殻内地震のシミュレーション: 粘弾性と摩擦法則を含んだモデル

埼玉大学工学部 正会員 谷山 尚、 東大地震研 宮武 隆

はじめに

サンアンドレアス断層のような strike-slip の断層では深さ10数kmより深いところでは地震が起きていない。これは、浅いところでは断層面上に摩擦が働いていて地震が起こるが、10数km以深では岩石が流動するために地震が起こらなくなるのだと考えられる。(例えば Sibson, 1982) 本研究では、摩擦と岩石の流動の両者を含んだ質点バネモデルを用いて、strike-slip型断層の断層運動のシミュレーションを試みた。断層は、一次元、平面とし、地表付近の浅い部分(2km)でクリープしてそれ以深ではロックしている場合について調べた。このように断層の浅い部分だけがクリープしている断層としては Hayward断層がある。これは、サンフランシスコの東に位置する断層で、Prescottらによってクリープが観測されている一方、1836年及び1868年に約M7の地震が起きている。このことから、Hayward 断層では浅い部分でクリープして深いところではロックしているものと考えられている。

摩擦法則

本研究では、断層面に働く摩擦を表す法則として rate- and state- dependent friction law を用いる。この法則はDieterichによって始められた摩擦の岩石実験の結果を Ruina(1983) が定式化したもので、速度 v と状態変数 θ によって下式のように表される。

$$\tau = \sigma [M_0 + \theta + A \ln(V/V_c)]$$

$$d\theta/dt = (-V/L)[\theta + B \ln(V/V_c)]$$

流動則

岩石の流動を表す法則として、次のような差応力のべき乗で表される法則を用いた。

$$d\epsilon/dt = A' (\sigma_1 - \sigma_3)^n \exp(-Q/RT)$$

本研究ではこれら2つの法則を用いて断層運動のシミュレーションを試みた。

一質点モデル

深さが変われば温度圧力が変わり、それにより岩石の流動や断層上での運動も変る。そこで、ある特定の深さだけ切取ったモデル(図1)を用いて、その深さの特徴を調べた。周囲の媒質に瞬間的には弾性体として振舞い長期的には流動する性質を持たせる為、板バネと流動則に従うダッシュポットを直列につないだ。その一端には質量 m のブロックがつながっていて、断層面に接している。断層面とブロックの間には摩擦が働いており、このブロックの運動が断層面上での運動を表している。断層からある程度離れるとプレート運動により常に一定の速度で動いていると考え、もう一端を一定速度 V_r で引張る。この場合のブロックの運動を深さを変えて見ることに、深さ毎の特徴を調べた。パラメータは、 $V_c = V_r = 3.5 \text{ cm/yr}$, $A = 0.012$, $B = 0.015$, $L = 1.1 \text{ cm}$, $M_0 = 0.6$, $dT/dz = 25^\circ\text{C/km}$, $d\sigma/dz = 180 \text{ bar/km}$, $A' = 2.6 (10^{-9}) \text{ MPa}^{-n} \text{ sec}^{-1}$, $n = 3.4$, $Q = 33.3 \text{ kcal/mol}$ とし、断層の厚さは3kmとした。

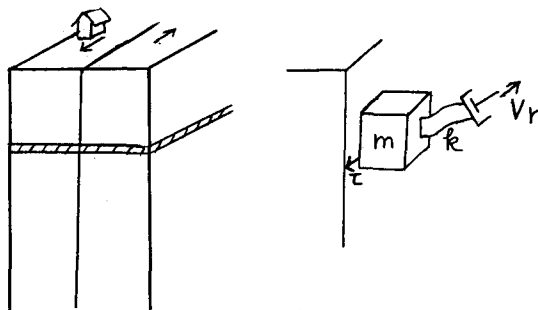


図 1

結果

2kmより浅いところでは、ブロックは常に一定の速度で安定に滑るクリープをおこしていた。2km以深ではある時は殆ど止ってある瞬間に急激に動く不安定滑りを起こした。図2に不安定滑りの周期と深さの関係を示す。周期は10km位までは、滑り時のストレスドロップの増加と共に直線的に増加する。10km以深では媒質の流動により周期は指数関数的に長くなり、約12kmより深くなると流動だけが起こり断層上での運動はなくなってしまう。

多質点モデル

上のようなモデルを垂直方向に500mおきに47個つなぎ、1次元の断層運動のシミュレーションを行った。（図3）

結果

2、3回地震が起きたあと、同じような挙動を繰返す定常的な状態になった。図4に4回目の地震の直後から7回目の直前までの結果を示す。横軸は時間、縦軸は変位を表しており、個々の線は左に示した深さでの軌跡を表す。浅い部分でクリープしているにもかかわらず地震が起きている。深い部分では媒質が流動している為に断層上での変位はない。しかし、一質点の結果では流動していた12-14kmでも地震時には滑っている。また、破壊の様子を詳しく調べた結果、これらの地震は浅いところ(4km)で開始し、比較的ゆっくり伝播するのがわかった。

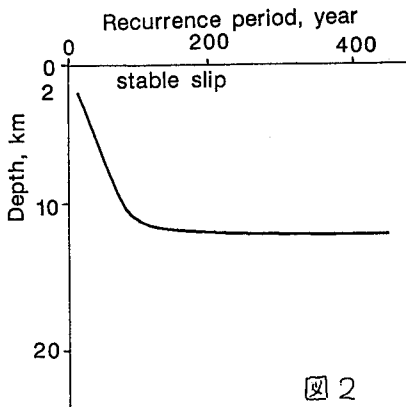


図 2

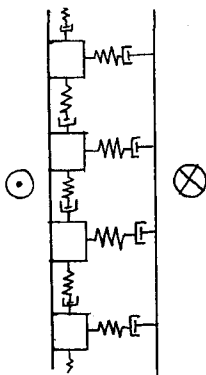


図 3

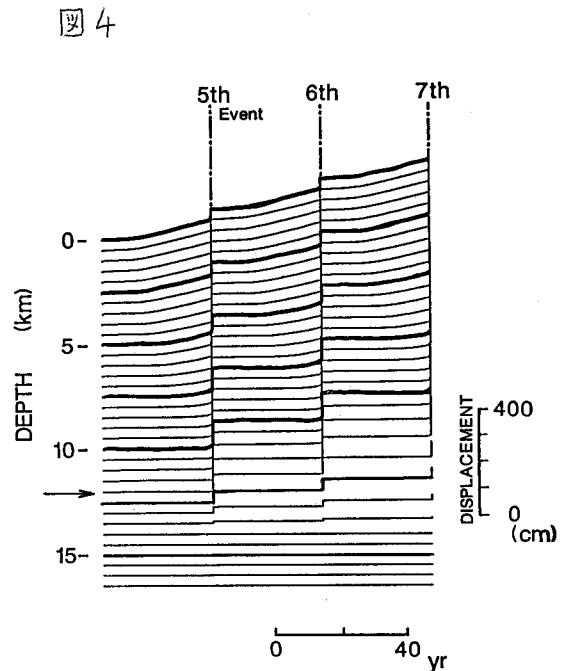


図 4