

## 速度弱化摩擦構成則に対するバネ-ブロック地震模型の応答

著者 山腰 優貴

指導教員 野村 保之

### 1. はじめに

この研究を始めた理由は国内過去最大となった 2011 年 3 月 11 日の東日本大震災がどのように発生し、なぜこのような規模の地震になったのかということに興味を持ち、地震発生の仕組みやその規模についての解析がしたいと思ったからである。

### 2. 地震発生のメカニズム

#### 2.1 地震とは

地震とはプレート同士の押し合いによるものである。その影響で歪みエネルギーが蓄えられ、局所的に応力が高まり断層が生じたり、もともとあった断層が動くことで発生するのが地震である。この時、蓄えられたエネルギーは地震発生時に瞬時に開放され、発生した場所に応じて津波が発生する場合もあり、またそれを繰り返していく（図 1）。

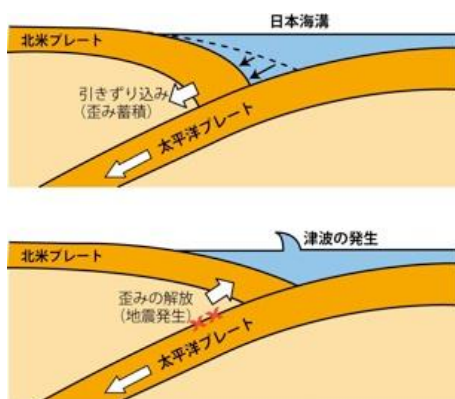


図 1 津波を伴う地震の模式図[1]

#### 2.2 バネ-ブロック地震模型

今回の研究ではバネ-ブロック地震模型 (Burrige-Knopoff 系) というバネとブロックを用いた地震模型を考える。

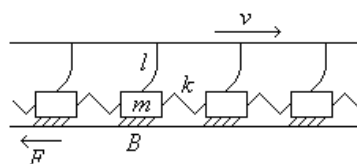


図 2 一次元バネ-ブロック地震模型[2]

図 2 のようなモデル化した断層面を考え、 $n$  番目のブロックの変位を  $u_n$  としたとき、次の方程式、

$$m\ddot{u}_n = k(u_{n+1} - 2u_n + u_{n-1}) - lu_n + F_n - \phi(\dot{u}_n) \quad (2.1)$$

が成り立つ。

$n$  番目のブロックは上面とバネでつながっているから、 $F_n$  はバネ定数 ( $k, l$ ) と上面の速度  $v$  によって決定され  $dF_n/dt = lv (v \ll c)$  となる。この時、

$\phi(\dot{u}_n)$  は静止しているときは静摩擦力  $B$  が生じ、動いている時は動摩擦力となる。

このモデルによって地震発生と伝搬を表すことができる。

#### 2.3 速度弱化摩擦と地震

2 つの物質が接触していると接触面に沿って摩擦力が働く。物質がすべり始めると摩擦係数は静止摩擦係数から動摩擦係数に変わる。

東北沖地震、多数の地震学者の実験により動摩擦係数がすべり速度と過去のすべり履歴に依存していることが明らかになってきた。

### 3. 速度弱化摩擦構成則

静止摩擦係数から動摩擦係数に変わる際に速度弱化摩擦が発生する点において、 $\alpha$  という地盤のすべりやすさについてのパラメータを変動させてどのような影響を与えるかを観察する。

地震との関係は前項で述べている通りで、今回の研究で用いるのは次の式である。

$$\phi(\dot{u}_n) = \begin{cases} B \cdot (\dot{u}_n = 0) \\ (1-\sigma) / \{1 + 2\alpha[\dot{u}_n / (1-\sigma)]\} \cdot (\dot{u}_n > 0) \end{cases} \quad (3.1)$$

$\phi(\dot{u}_n)$  が静止している場合は静摩擦力  $B$  が生じ、動き始めると動摩擦力  $(1-\sigma) / \{1 + 2\alpha[\dot{u}_n / (1-\sigma)]\}$

となり、 $\alpha$  のパラメータを変化させたグラフを表すと次の図 3 のようになる。

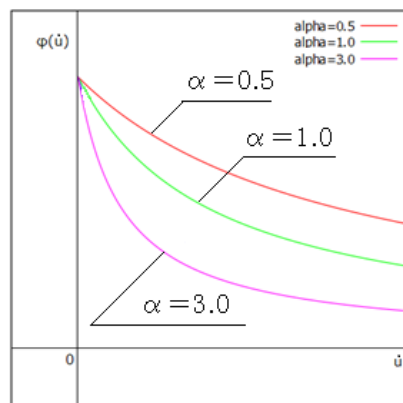


図 3 動摩擦力の速度依存性

この式を用いて (2.1) の運動方程式に代入し数値解析を行う。

#### 4. 地震の規模と頻度

地震の規模と頻度にはべき乗則が成立するのが多数の観測データからわかっている。この経験則を示したのがグーテンベルク・リヒター式であり

$$\log n(M) = a - bM \quad (4.1)$$

で表す。ここで  $n(M)$  はマグニチュード  $M$  の地震の発生件数であり、 $a$  および  $b$  は定数である。

#### 6. 解析結果・まとめ

Runge-Kutta-Nyström 法 [3] を用いて前述の運動方程式を解析した。

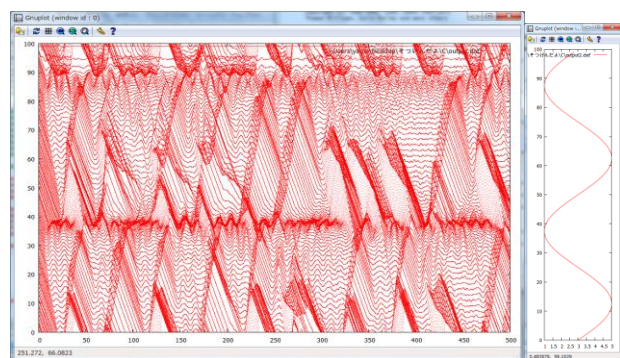


図 4.1  $\alpha = 0.5$  の場合

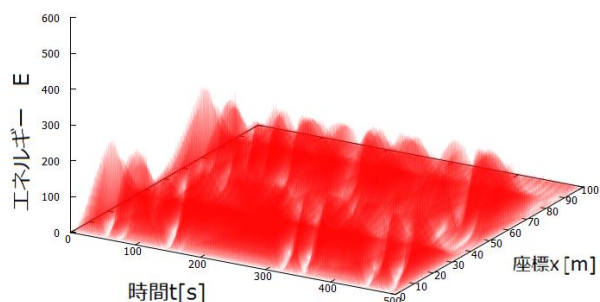


図 4.2 蓄積エネルギー分布 ( $\alpha = 0.5$ )

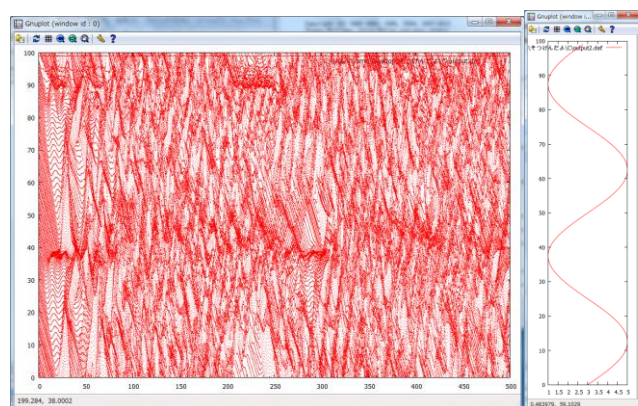


図 5.1  $\alpha = 3.0$  の場合

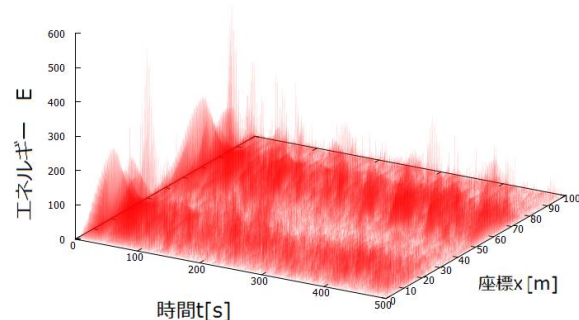


図 5.2 蓄積エネルギー分布 ( $\alpha = 3.0$ )

図 4・図 5 より静摩擦力の大きい位置では位置の変動が大きく、エネルギーの蓄積が限界まで行われてから解放されているのがわかる。静摩擦力の小さいところでは頻繁に座標の変動が起きていることが観測できる。また、速度弱化の度合いを大きくすると大地震が頻繁に起きていることがわかる。

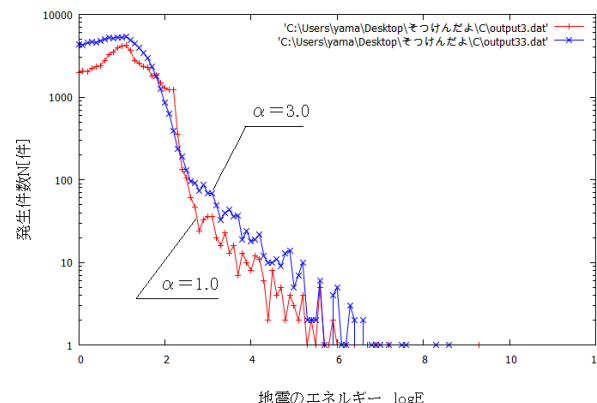


図 6 地震の規模と発生件数

図 6 より、地震の規模と頻度には、比例関係が成り立っているのが確認でき、グーテンベルクリヒター則を観測できた。そして  $\alpha = 3.0$  のときには明らかに途中から傾きが変わっているのがわかる、これは 2 つの事象が重なり合っているからであると考えられる。

#### 6. 参考文献

- [1] プレート収束帯の地震発生について  
<http://www.geol.sci.hiroshima-u.ac.jp/~envi/link/TohokuEarthquake.html>
- [2] Intrinsic properties of a Burridge-Knopoff model of an earthquake fault  
 J.M. Carlson, J.S. Langer, B.E. Shaw, C. Tang  
 Phy. Rev A44 884(1991)
- [3] 数値シミュレーション  
<http://www2.denshi.numazu-ct.ac.jp/~ushimaru/pdf/simulation.pdf>