

4. 西南日本の巨大地震発生様式についての一仮説

地震研究所 宮 武 隆

(昭和57年2月15日受理)

1. はじめに

南海トラフ沿いには巨大地震がくり返し発生しておりその歴史も Fig. 1 のようになりによくわかっている (ANDO, 1975; 宇津, 1976). ここで南海, 東南海地域 ABCD に注目すると, 南海, 東南海地震などのように AB, CD 別々に破壊する場合と, 宝永地震のように ABCD 全体が破壊する場合がある. つまり一枚の断層面上 (厳密には一枚ではないかもしれないが) で, ある時は全体が, あるときはその半分が破壊する例になっている. このことを説明するモデルは LAY & KANAMORI (1980) によるものだけである. しかしそれは静的なシミュレーションで力学的な考慮がされていない. ここでは簡単な力学モデルを使ってこれを説明する.

2. バリアーモデル

安政 I, 安政 II, 東南海, 南海道地震の系列をみてまず推定できるのは安政 I 地震, 東南海地震と安政 II 地震, 南海道地震の境にバリアーが存在することである (Fig. 1) (ANDO, 1975; DAS & SCHOLZ, 1981). SHIONO (1982) によると紀伊水道から紀伊半島沖付近に古い Ridge の跡と思われるフィリピン海プレートの凹部がある. これがバリアーの原因となるのかもしれない. 次に安政 I 地震 (CD 域) の直後に安政 II 地震 (AB 域) が発生したり, 1944年東南海地震 (CD 域) の2年後に南海道地震 (AB 域) が発生していることから考えて, CD 域の方が AB 域よりも断層面上の (全体又は一部) 強度が低いという推定も可能だろう. このような推定は松沢 (1978), 津村 (1979) によってもなされている. 応力が高いという考えもあるが, 長期の地震活動を考える上で重要だと思われる広域の応力場 (ここではプレートの回転から推定される応力) はむしろ AB 域の方が少し大きい. 計算に必要なのは強度と応力との差であるが, これは上の議論から AB 域の方が CD 域より小さい.

以上のことから Fig. 3 のような強度分布をえらんだ. (ここでは計算の簡単のために, 仮に強度と応力の差を強度とみなしている) つまり中央のバリアーが断層を2つの部分 a, b に分割していて, b の強度が a のそれよりも全体に低い場合 (Fig. 3, Case-A) と b のバリアーに近い部分だけが低い強度になっている場合 (Fig. 3, Case-B) である.

このような強度分布をもつ2次元 SH 型クラックの伝播を Irwin の破壊条件を使って解く. この方法は差分法では応力による破壊条件と同じになり数値計算上有利である (DAS, 1976). 断層は $Z=0$ 面に用意されていて, 長さ方向に X 軸をとる (Fig. 2). 応

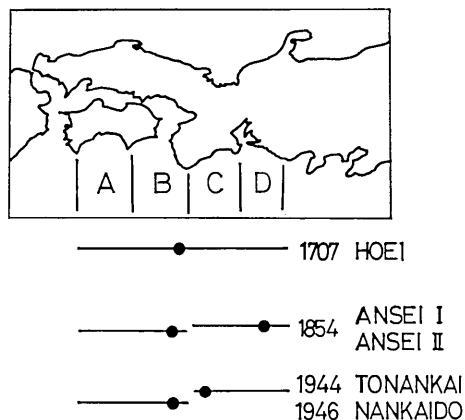


Fig. 1. Recurrence of great earthquakes along the Nankai trough. Circles and line segments denote epicenters and seismic source regions.

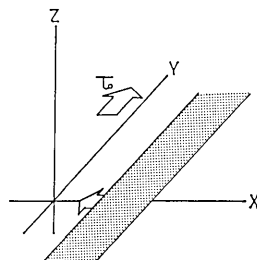


Fig. 2. Schematic representation of a 2-dimensional SH-crack model. Hatched area denotes ruptured area.

力は一様に $\tau_{yz} = \tau_0$ のみがかわっているので変位は Y 方向の成分 v のみが存在する。破壊が起きたらその部分の応力は動摩擦力になる。

運動方程式は、

$$\rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = \mu \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) v$$

(ρ , μ は密度, 剛性率)

境界条件は

$Z=0$ 面の破壊域では、

$$\tau_{yz} = \tau_0 - f_d$$

$Z=0$ 面の未破壊域で

$$v = 0$$

これを差分して解くのだが、その前に以下のような規格化をする。

$$L = aL', \quad t = \frac{aL'}{\beta}$$

$$\tau_{ij} = (\tau_0 - f_d) \cdot \tau'_{ij}, \quad v = \frac{(\tau_0 - f_d)}{\mu} \cdot a \cdot v'$$

($2L$ は断層の長さ, β は S 波速度, a は定数)

書き直した方程式でダッシュのついた記号を改めてダッシュのつかない記号に置き直し差分化すると

$$\frac{\partial^2 v^t(x, z)}{\partial t^2} = [v^t(x + \Delta x, z) + v^t(x - \Delta x, z) + v^t(x, z + \Delta z) + v^t(x, z - \Delta z) - 4v^t(x, z)] / \Delta x^2$$

$$v^t(x, \Delta z) - v^t(x, 0) = -\Delta x$$

時間積分は線型加速度法を使い以下の過程を反復させて解く。

$$\ddot{v}^{t+\Delta t}(x, z) = 2\ddot{v}^t(x, z) - \ddot{v}^{t-\Delta t}(x, z) \quad (\text{第1回目のみ})$$

$$\dot{v}^{t+\Delta t}(x, z) = \dot{v}^t(x, z) + \frac{\ddot{v}^t(x, z) + \ddot{v}^{t+\Delta t}(x, z)}{2} \cdot \Delta t$$

$$v^{t+\Delta t}(x, z) = v^t(x, z) + \Delta t \cdot \dot{v}^t(x, z) + \frac{\Delta t^2}{3} \ddot{v}^t(x, z) + \frac{\Delta t^2}{6} \cdot \ddot{v}^{t+\Delta t}(x, z)$$

$$\ddot{v}^{t+\Delta t}(x, z) = [v^{t+\Delta t}(x + \Delta x, z) + v^{t+\Delta t}(x - \Delta x, z) + v^{t+\Delta t}(x, z + \Delta z) + v^{t+\Delta t}(x, z - \Delta z) - 4v^{t+\Delta t}(x, z)] / \Delta x^2$$

差分のメッシュ数は 160×100 であり、そのうち断層は 40メッシュとっている。 ($L=20$)

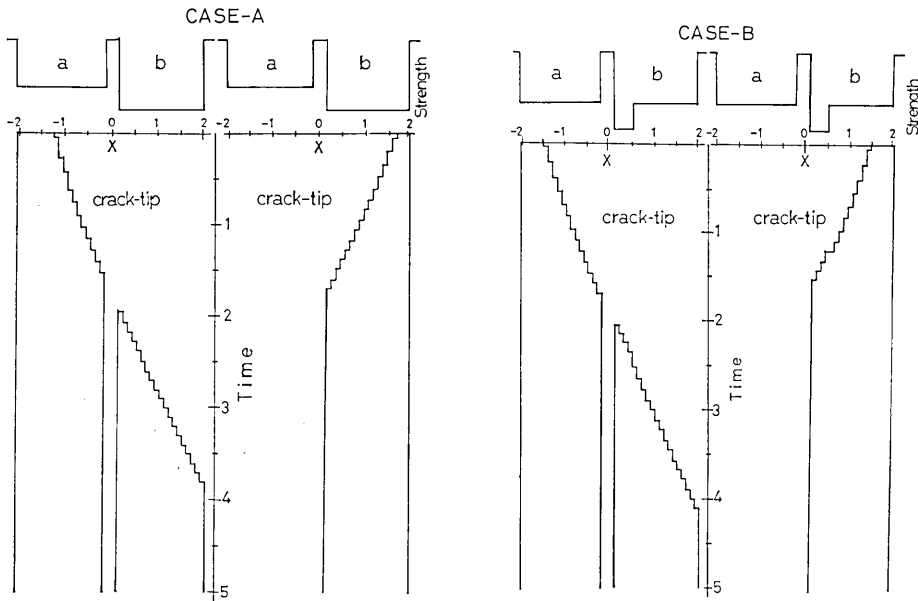


Fig. 3. Two barrier models of strength distribution on the fault and position of crack-tip against time for these cases.

そして時間間隔は 0.025 であり空間間隔は 0.1 である。

初期破壊としては長さ l_0 個のクラックを a の左端又は b の右端につくる。この静的解を差分法により求めて初期条件とした。結果を Fig. 3 に示す。Fig. 3 は破壊伝播の様子を示した図である。 a の左端の部分から出発した破壊は a , b 両方の断層を破壊するのに対し、 b の右端の部分から出発したときは片側（ここでは b のみ）だけの破壊で終わっている。つまり、Fig. 3 に示すような強度分布を仮定すると破壊の出発点によって断層全体が破壊したり、半分だけが破壊したりする現象が起こる。

3. 西南日本への応用

第 2 節の結果を西南日本に適用してみよう。Fig. 1 のように B と C の境にバリアーを置く。そして CD 域が AB 域に比べ全体的に強度が低いか、C 域のバリアー近くに強度の低い部分があると仮定する。

1707年の宝永地震がもし AB 域内より破壊が出発して起ったのであれば前節で見たように ABCD 全体を破壊することができる。1854年の安政 I 地震は CD 域内に震源があるので CD 域の破壊だけに終り AB 域には破壊は伝わらない。その直後の安政 II 地震は AB 域内から破壊が出発しているのだから本来ならば CD 域も破壊できるのだが、CD 域は 32 時間前に破壊したばかりですでに応力が解放されていたため破壊を起こせなかったであろう。次の東南海地震と南海道地震についても同様のことが言える。つまり 1944 年の東南海地震は C 地域内から破壊が出発したため CD 域だけで終り、AB 域まで破壊は伝わらなかった。1946 年の南海道地震は B 域内から破壊が出発したので ABCD 全体を破壊するはずなのだが CD 域は 2 年前の地震で歪 エネルギーを解放したばかりなので破壊を起こせなかったであろう。

別の説明として 1703 年に相模灘に発生した元禄地震によりいわば南海トラフのカギがはずれ 1707 年の巨大地震になったと言う安藤 (1974), MOGI (1980) の説がある。もしそうなら元禄地震のために南海トラフの応力レベルが上がり CD 域で起きた破壊が AB 域にも伝わった可能性もある。しかしこれだけではまだ全体の破壊には応力増加は不足で最終的には AB 域から破壊が出発しないと全体は破壊しないととも考えられる。これは今後の問題にしたい。

謝 辞

京都大学防災研究所の三雲健教授、東京大学地震研究所の茂木清夫教授、津村健四朗助教授、山科健一郎博士との議論は大変有益でした、ここに感謝致します。

文 献

- 安藤雅孝, 1974, 東海沖か房総沖で大地震, 科学朝日, 34, No. 3, 34-37.
 ANDO, M., 1975, Possibility of a major earthquake in the Tokai District, Japan and its pre-estimated seismotectonic effects. TECTONOPHYSICS, 25, 69-85.
 DAS, S., 1976, A numerical study of rupture propagation and earthquake source me.

- chanism Ph. D thesis in M. I. T.
- DAS, S. and C. H. SCHOLZ, 1981, Theory of time-dependent rupture in the Earth. *Jour. Geophys. Res.*, 86, 6039-6051.
- LAY, T. and H. KANAMORI, 1980, An asperity of large earthquake sequences, *Earthquake Prediction, Maurice Ewing Series 4*, 579-592. A. G. U.
- MOGI, K., 1980, Seismicity in western Japan and long-term earthquake forecasting, *Earthquake Prediction, Maurice Ewing Series 4*, 43-52. A. G. U.
- 松沢武雄, 1978, 地震の理論とその応用, 東京大学出版会.
- 津村建四朗, 1979, 地震活動および前兆現象の経過を説明するための一つの仮説, 地震学会春季大会予稿集, C47.
- SHONO, K., 1982, Frontal shape of the seismic slab by normal subduction of a dead spreading axis and a preliminary application southwest Japan. *Jour. Geosci. Osaka City Univ.*, 25, (in press).
- 宇津徳治, 1976, 東海沖の歴史上の大地震, 地震予知東海部会資料.

4. Great Earthquake Sequence along the Nankai trough—a Hypothesis.

By Takashi MIYATAKE,

Earthquake Research Institute.

It is well known that great earthquakes have occurred repeatedly along the Nankai trough in Southwest Japan. The eastern half of the source area of the 1707 Hiei earthquake ruptured again during the 1946 Nankaido earthquake, while the western half area ruptured at the time of the 1944 Tonankai earthquake. From this, it may be inferred that one earthquake could rupture the entire source area in these regions and another only a half of it. In this paper, I suppose a simple 2-dimensional crack model in which some barriers divide a fault plane into two parts, and the fracture strength of one part is lower than that of another. If the rupture starts in the high strength part, then the whole fault plane can be ruptured. If the rupture starts in the point of the low strength part, then the rupture cannot propagate toward the high strength area and only a half of the fault plane is ruptured.