

## 1984年長野県西部地震による阿寺断層の歪場変化

地震研究所 { 加藤 照之  
                  { 笠原 慶一

ポーランド科学アカデミー Kacper RYBICKI

(昭和60年5月20日受理)

### 要 旨

長野県西部地震(1984年9月14日)が西隣にある阿寺断層にどのような静的歪場の擾乱を与えたかを調査した。ここでは、剪断応力に法線応力の0.6倍を加味した破壊応力を考え、地震による阿寺断層上の応力変化を計算した。その結果、阿寺断層北部及び南部で破壊応力の増加がみられ、その最大値は歪量で $8 \times 10^{-6}$ に達した。比較のため最近100年間に阿寺断層に影響を与えたとされる地震をとりあげ、同様の計算を行ったところ、同期間では長野県西部地震が最大の擾乱を与えたようである。

### 1. ま え が き

阿寺断層は日本内陸部において、最も活動度の高い活断層のひとつである。この断層上では過去少なくとも1200年以上地震の発生がない。その地形学的変動速度(2~4 mm/yr)(SUGIMURA and MATSUDA, 1965)から考えて、近い将来M8クラスの地震が発生する可能性を秘めている(松田, 1975)。このような活断層が一連の地震サイクルのなかで現在どのような段階にあるのかを探ることは地震予知研究の上でも重要なことである。言い換えると、活断層の危険度(安定度)を評価することが次の破壊を知る上で重要なことである。

いま、注目している活断層の近傍で大きな地震が発生したとすると、断層は静的・動的に大きな擾乱を受けていると考えられる。それは、きたるべき地震の発生を促進する(危険度が增大する)場合もあればその逆の場合もあろう。たとえその地震が断層上の次の地震に対して直接の引金にならなくとも、そのような地震による影響を量的に見積もることは、活断層の危険度を評価する際に重要な資料を提供することになると思われる。

筆者等は、このような考えかたにもとずき、いくつかの基本的に重要と思われる以下のような点を指摘した(RYBICKI *et al.*, 1984)。

(1) 単なる静的剪断応力の増加より、それに法線応力の低下を適当な比率で加味したものの、破壊応力(fracture stress)を考えるべきこと。

(2) このような破壊応力を地表よりはむしろ地震発生層(深さ約10 km程度)で評価すべきこと。

(3) 動的応力は静的応力の何倍にも達する可能性があるので無視できないこと、などである。これらのうち(3)の動的歪については断層強度の時間効果などを考えなくてはならず、問題提起をするにとどめられた。

1984年9月14日に発生した長野県西部地震 (M6.8) は、本震が阿寺断層の東方最短距離約 10 km と近く、我々の研究に格好の題材を提供してくれた。本報告ではこの地震による阿寺断層上の静的な歪場変化について調査する。なお阿寺断層上には十数年以前より光波基線網を設置して断層上の歪変化を監視しており、今回の地震直後の観測でも有意とおもわれる変化を検出した。この結果については本特集号別稿を参照されたい (松本ら, 1985)。

## 2. 解析方法および結果

阿寺断層上での歪場を計算するにあたっては RYBICKI *et al.* (1985) による方法に若干の修正を加えて使用した。これを簡単に説明すると以下のようになる。

ある断層を考え、その近傍に地震が発生したと仮定する。この地震が断層に対してどのような静的歪の変化をもたらしたかを知るために、前節で述べたように剪断応力の増加 ( $S_{zv}$ ) に法線応力の低下 ( $S_{vv}$ ) を適当な比率で加味したものを考えることにする。両者の比率は岩石実験の結果、例えば BYERLY (1978), などを参考にすると、後者は前者の 6 割程度の重みをつければよいと推察される。そこで、この量を  $S_r$  とすると、

$$S_r = S_{zv} + 0.6 \cdot S_{vv}$$

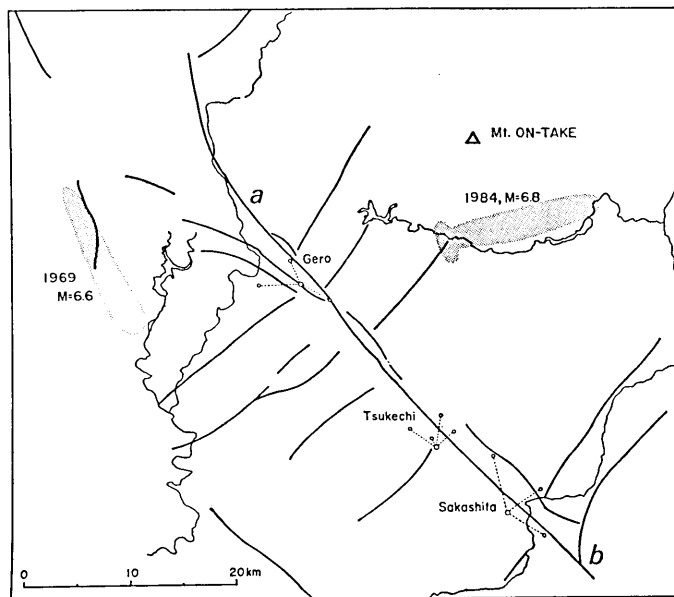


Fig. 1. The Atera fault (a-b) and adjacent active faults (The Research Group for Active Faults, 1980). The shaded areas represent the epicentral regions of the 1984 western Nagano prefecture and the 1969 middle Gifu prefecture earthquakes. Geodimeter networks denoted by Gero, Tsukechi and Sakashita are also shown.

とあらわされる。  $S_r$  をここでは破壊応力と呼ぼう。 RYBICKI *et al.* (1985) では合成応力とよんだ。 また STEIN and LISOWSKI (1983), MAVKO *et al.* (1985) も独立におなじ量を定義している (STEIN and LISOWSKI (1983) では  $S_{vv}$  の係数を 0.75 としている)。 活断層の近傍に発生した地震の断層に対する影響は、その地震についての適当な断層モデルを与えて、このスカラー量  $S_r$  を活断層の面上で計算すれば、それがひとつの目安になると考えられる。 RYBICKI *et al.* (1985) は簡単のために地震の断層面の走向に平行な潜在活断層を考えて計算を行った。 しかしながら一般的には地震と断層がこのような理想的な位置にあるとはかぎらない。 そこで計算プログラムに若干の変更を加え、地震と潜在断層が任意の角度をなす場合でも適用できるようにした。 長野県西部地震のメカニズム (例えば名古屋大学, 1985) と活断層マップ (活断層研究会編, 1980) (第1図) を参照すると両者の

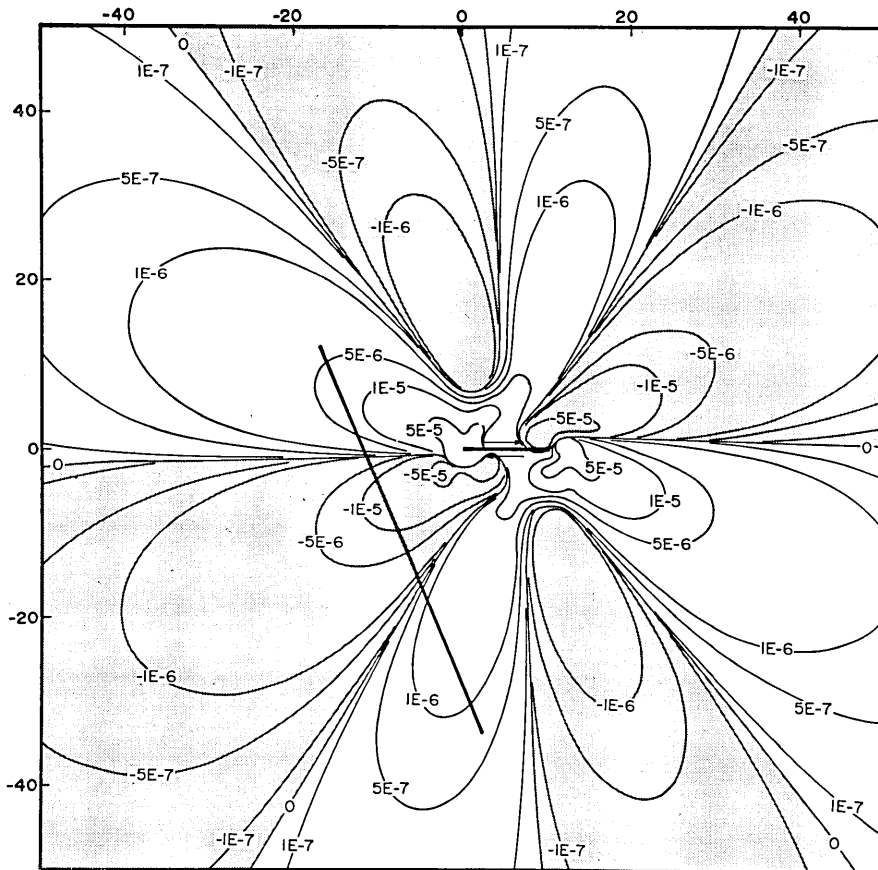


Fig. 2. Pattern of fracture stress due to the fault model compatible with the western Nagano earthquake shown by the thick line at the origin of the co-ordinate. Fracture stress whose direction is parallel to the Atera fault (shown by the oblique line) is calculated. The magnitudes of the fracture stress, 5E-6, for example, means  $5 \times 10^{-6}$  in strain in this figure.

なす角度は約  $67^\circ$  である。

第2図に示したのは長野県西部地震の主破壊の断層モデルによる周辺の破壊応力の分布である。断層モデルとしては、山科(私信)による暫定値(本震のみの場合)を用いた(松本ら, 1985, を参照のこと)。ここで示したのは断層面と  $67^\circ$  をなす角, 即ち上で述べた阿寺断層の走向に平行な面上での破壊応力である。なお深さ 10 km のところで計算してある。この図で白い部分は破壊応力  $S_r$  が正の部分, 灰色の領域は負となる場所である。言い換えると, 白い部分はより破壊に近づいた部分であり, 灰色の部分はその反対である。図中斜めの太線で示したのが阿寺断層に相当する部分である。断層の北部及び南部で破壊応力が増加し, 中央部では低減していることがわかる。破壊応力の増加は, 歪値で最大  $8 \times 10^{-6}$  程度が見込まれる。現在のところ, 破壊の限界応力 (yield stress) についての情報を持ちあわせていないので, この図から直ちに阿寺断層の北部と南部が危険な場所という結論を導くことはできない。しかしながら, 他方, 三角測量から求められた阿寺断層上での歪蓄積速度(国土地理院, 1976)を断層上での破壊応力に換算して, 歪値になおすと, およそ  $1 \times 10^{-7}/\text{yr}$  となる。従って, 今回の地震による歪場の変化は広域のテクトニックな歪蓄積量のおよそ 100 年分に近い量を一挙にかせいだことになり, かなり大きな値といえる。

### 3. 他の地震による影響

長野県西部地震と比較するために, 最近 100 年間に阿寺断層の周辺で発生したいくつかの地震について同様の計算を行った。とりあげた地震は, 1891 年濃尾地震 (MIKUMO and ANDO, 1976), 1923 年関東地震 (ANDO, 1974), 1944 年東南海地震 (ISHIBASHI, 1981), 1946 年南海地震 (IWASAKI, 1981), 1948 年福井地震 (KANAMORI, 1973), 1969 年岐阜県中部地震 (MIKUMO, 1973) の 6 地震である。それぞれの地震について阿寺断層上での破壊応力の変化を計算したものを第4図にグラフで示す。これらの地震のうち 1923 年関東地震及び 1946 年南海地震は最大でも  $2 \times 10^{-7}$  を越えなかったのでグラフにはしめていない。同図には全地震によるものを足しあわせたグラフをあわせて示してある。これを見るとわかるように, 最近 100 年間に周囲の地震から受けた応力増加は歪値になおして  $2 \times 10^{-5}$  近くに達している。このなかでも特に 1984 年の長野県西部地震によるものが大きかったことは明白であるが 1969 年岐阜県中部地震もマグニチュードの割には震源が近かったこともあり, かなり大きな影響を与えている。内陸型地震としてはここ 100 年間では最大とされる濃尾地震も, やはり阿寺断層北部で破壊応力を増加させている。しかし, 上の 2 つの地震にくらべると, それほど大きな影響は与えていない。一方 1944 年東南海地震は阿寺断層全体にわたって破壊応力を低下させていることは注目に値する。

### 4. まとめと問題点

破壊応力という考え方を用いて長野県西部地震による阿寺断層上の歪場変化を評価した。その結果断層北部で  $1 \times 10^{-5}$  近くの歪の増加があったと推定される。これは広域応力

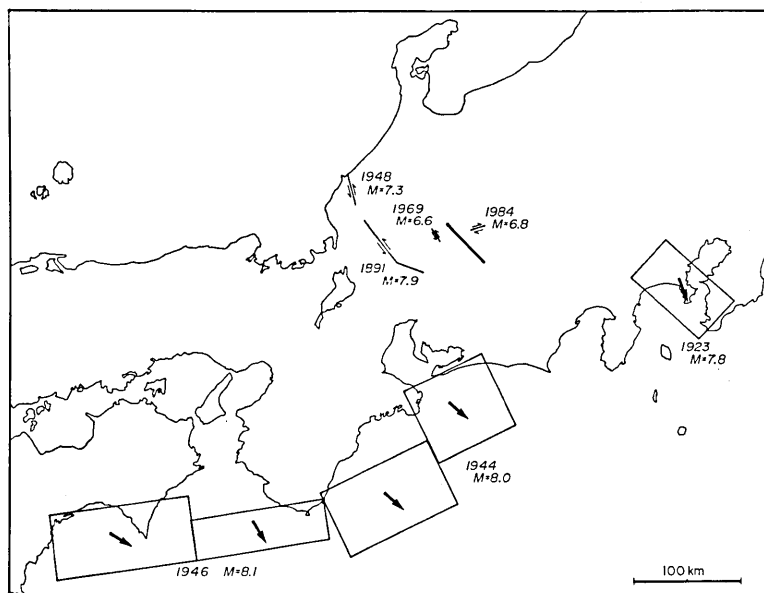


Fig. 3. Earthquakes for which the fracture stress on the Atera fault is calculated. Magnitudes (M) are taken from Rika-nenpyo (1985).

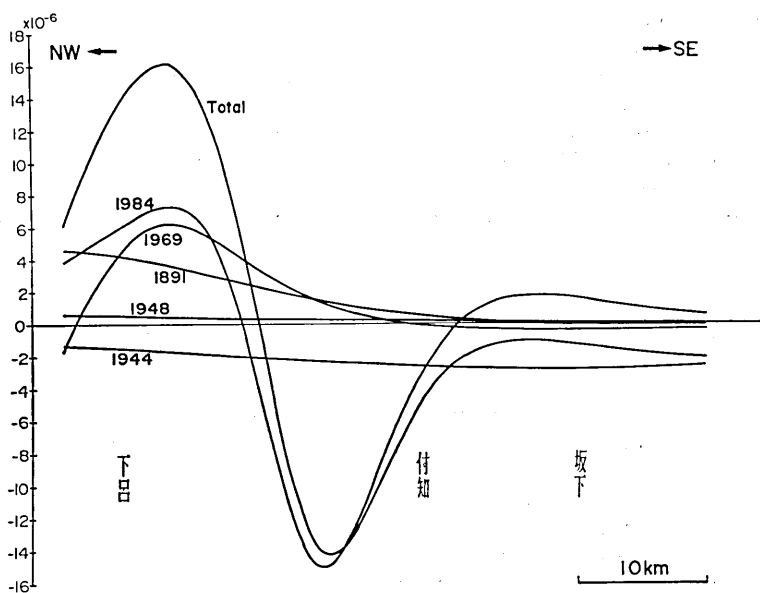


Fig. 4. Fracture stress profiles on the Atera fault due to the 1891 Nobi, 1944 Tonankai, 1948 Fukui, 1969 Gifu-chubu and 1984 western Nagano prefecture earthquakes. Summed stress is also shown by "Total". The magnitude of stress is described in unit of strain.

場による歪速度の100年分近くを一挙にかせいだ量である。これは周囲におこった他の地震に比べても大きく、当地震は最近100年間で阿寺断層に対し最も大きなインパクトを与えた地震といつてよからう。

しかしながら、上で述べてきた議論を破壊の発生時期の推定に役立てるためにはいくつかの問題点があることを指摘しておかなくてはならない。まず第一にまえがきで述べたいくつかの重要な点のうち動的応力がここでは考慮されていないことである。動的応力は静的応力の何倍にも達する衝撃を断層上に与えることがあるので無視できないと思われる。しかしながらそのような短時間の衝撃力に対して断層がどのように応答するかについては未だに不明の点が多い。また、静的歪場変化が地震時に発生した場合でも断層面の非弾性的性質により破壊に至るまでに時間を要することも考えられる。これらの時間効果を知ることが今後重要であろう。もう一つ考えなくてはならないことは、断層面上の強度分布である。たとえここで述べたような応力変化が実際にあったとしても、断層面上の強度分布をしらないと破壊限界点に対して現在どの段階にあるのかわからない。従って、様々な方法を駆使して断層面上の物性を知ることが次の破壊の開始点や時期を推定する上で重要なことにならう。このような研究はまだ不十分といわざるをえない。今後特に研究を推し進めなければならない点であろう。

#### 引用文献

- ANDO, M., 1974, Seismotectonics of the 1923 Kanto earthquake, *J. Phys. Earth*, **22**, 263-277.
- BYERLY, J., 1978, Friction of rocks, *Pageoph*, **116**, 615-626.
- ISHIBASHI, K., 1981, Specification of a soon-to-occur seismic faulting in the Tokai district, central Japan, based upon seismotectonics, *Earthquake Prediction—An International Review, Maurice Ewing Series 4 (AGU)*, 297-332.
- IWASAKI, T., 1981, Theoretical study on the surface deformations in a medium with viscoelastic layers (surface loads and dislocation sources)—Rheological structure of the upper mantle, *Ph. D. Thesis*, Tokyo University.
- KANAMORI, H., 1973, Mode of strain release associated with major earthquakes in Japan, *Ann. Rev. of Earth Planet. Sciences*, **1**, 213-239.
- 活断層研究会編, 1980, 日本の活断層—分布図と資料—, 363 pp.
- 国土地理院, 1976, 恵那地区の地殻水平歪, 予知連会報, **16**, 131-132.
- 松田時彦, 1975, 活断層から発生する地震の規模と周期について, *地震*, **28**, 269-283.
- 松本滋夫・平田安廣・加藤照之・渡辺 茂, 1985, 阿寺断層における光波測量—1984年9月14日長野県西部地震による水平地殻変動—, *地震研究所集報*, **60**, 239-248.
- MAVKO, G. M., S. SCHULZ and B. D. BROWN, 1985, Effects of the 1983 Coalinga, California, earthquake on creep along the San Andreas fault, *Bull. Seismol. Soc. Amer.* **75**, 475-489.
- MIKUMO, T., 1973, Faulting mechanism of the Gifu earthquake of September 9, 1969 and some related problems, *J. Phys. Earth*, **22**, 87-108.
- MIKUMO, T. and M. ANDO, 1976, A search into the faulting mechanism of the 1891 great Nobi earthquake, *J. Phys. Earth*, **24**, 63-87.
- 名古屋大学理学部, 1985, 1984年長野県西部地震について, *地震予知連絡会報*, **33**, 123-134.
- 理科年表, 1985, 丸善.
- RYBICKI, K., T. KATO and K. KASAHARA, 1985, Mechanical interaction between neighboring active faults—Static and dynamic stress field induced by faulting—, *Bull. Earthq.*

- Res. Inst., Univ. Tokyo*, 60, 1-21.
- STEIN R. S. and M. LISOWSKI, 1983, The 1979 Homestead Valley earthquake sequence, California: Control of aftershocks and postseismic deformation, *J. Geophys. Res.* 88, 6477-6490.
- SUGIMURA, A. and T. MATSUDA, 1965, Atera fault and its displacement vectors, *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 76, 509-522.

---

*Strain Changes across the Atera Fault, Central Japan, due to the  
1984 Western Nagano Prefecture Earthquake*

Teruyuki KATO and Keichi KASAHARA  
Earthquake Research Institute, University of Tokyo  
and

Kacper RYBICKI  
Institute of Geophysics, Polish Academy of Science, Poland

Static stress changes across the Atera fault, central Japan due to the western Nagano prefecture earthquake of September 14, 1984, is examined. For this purpose, fracture stress which is the linear combination of the shear stress (increase) and normal stress (decrease) multiplied by 0.6 is calculated across the Atera fault. The result suggests that the stress increased at both the northern and southern ends of the fault, which amounted to nearly 10 microstrains. For example, several large earthquakes in the past 100 years which might have dominantly affected the fault are selected in order to calculate coseismic changes in the fracture stress due to them. Among these earthquakes, the western Nagano prefecture earthquake seems to have most seriously affected the Atera fault in such a sense as to increase the fracture stress. Total seismic disturbances by all these earthquakes have amounted to nearly 20 microstrains.

---