

山崎断層安富観測坑における長周期伸縮変化の特徴

渡辺 邦彦・尾池 和夫
中村佳重郎・岸本 兆方

ON THE CHARACTERISTICS OF LONG-PERIOD STRAIN CHANGE IN THE YASUTOMI OBSERVATION TUNNEL AT THE YAMASAKI FAULT

By *Kunihiko WATANABE, Kazuo OIKE, Kajuro NAKAMURA*
and *Yoshimichi KISHIMOTO*

Synopsis

The data were collected by Extensometers in Yasutomi Observation Tunnel at the Yamasaki Fault Observation Station from November 1975 to December 1982. The analyzed results are as follows.

- 1) The amplitude of annual variation caused by the atmospheric temperature is about 10^{-5} strain.
- 2) The turning points of secular variation exist in 1978-1980 and in 1981-1982.
- 3) These altered change seems to the results of Base Line Network Survey near the station and seismic activity around the Yamasaki Fault.
- 4) The movement of the fractured zone of the fault especially gives us useful informations to investigate the general features of the fault, and the change of the stress field.

1. はじめに

山崎断層は、近畿・中国地方にかけて、北西—南東方向に約80km にわたる水平左ずれの活断層であり、確実度は I、活動度は B 級である^{1),2)}。この山崎断層のほぼ中央部、兵庫県宍粟郡安富町春地区に観測坑道がある。この観測坑道（山崎断層観測室安富観測坑と称する）は高速道路直下にあつて、かぶりが約 8 m と比較的浅い。その形は L 字形で、直交する夫々の辺が、断層破砕帯を約45度の方向に横切るように掘削されている。この安富観測坑において伸縮計による観測が開始されたのが1975年であつた³⁾。その後種々の観測項目が追加され、地震予知のための総合観測が行われている。これらの観測が開始されて以来、山崎断層近傍に発生した M3~4 クラスのいくつかの地震について、伸縮計や地電流計の記録や、温泉水の塩素イオン濃度や電気伝導度（夢前町塩田温泉にて測定）等に前兆現象のあつた事が報告されている^{4),5)}。

1978年、当該地域が「山崎断層地震予知テストフィールド」に指定された。而来、山崎断層観測室を中心として、種々の項目の地震予知を目的とした総合観測・解析が山崎断層研究グループを中心とするメンバーによって実施されている^{6),7),8)}。

1979年、観測データの防災研へのテレメータ伝送および、ミニコン・システムによるデータ・オンライン収録が実施されるに至り、観測・解析能力は著しく向上した。防災研にて収録・解析され得るデータは、測地、地殻変動、地球電磁気、地球化学、地下水、気象等64成分にわたる⁹⁾。これらのデータを総合的に解析することにより、山崎断層の活動を地震予知の観点から捕える研究が着実に進展しつつある。本稿では、そのうち、1975年以後の伸縮計連続記録に見られる長周期の変化の解析結果について述べる。

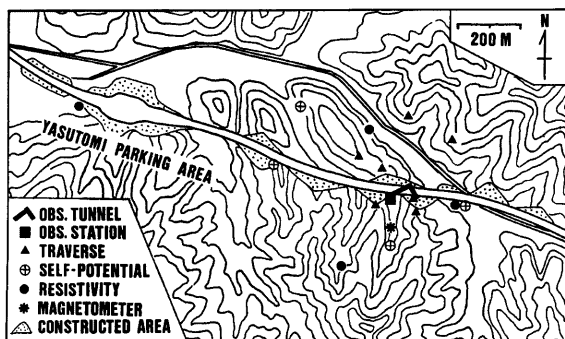


Fig. 1 The Yamasaki Fault Observation Station and the topography around the station.

2. 観測・解析システム

山崎断層観測室安富観測坑における伸縮計による観測は、1975年11月に開始された¹⁰⁾。Fig. 2 に示すように、伸縮計パイプの固定端は、L 形の坑道の角の部分に設置されている。固定端近傍は、高速道路の北側の山地の下に位置し、かぶり比較的深く、従って、地表温度変化の影響の少ない部分である。伸縮計のスーパーインヴァール製パイプは、この固定端から L 形坑道の両辺に、夫々、 $S34^{\circ}E$ 、 $S56^{\circ}W$ の方向に設置されている。ここでの断層の走向は、約 $N80^{\circ}W$ であり、2本のパイプは、山崎断層のこの地域の平均的な走向と、約45度の角度をなしている。この2本の伸縮計の他に、L 形坑道の角の部分に、断層走向とほぼ並行な、短スパンの伸縮計も設置してある。

Fig. 2 にあるように、差動トランスを用いた変位センサーが各伸縮計のパイプの各所に設置してある。この観測坑道が掘削された際の壁面の観察によって、NW-SE 方向の坑道部分は、全体的に破砕が進んでいる事が認められている。そのうち、特に顕著な破砕帯を挟むように、2, 3 番のセンサーを設置してある。NE-SW 方向の坑道部分は、全体としては、上述の NW-SE 方向の坑道ほどは破砕されていないが、1カ所明瞭な破砕帯があり、10, 11 番のセンサーがその部分を挟んでいる。このように、各センサーは、破砕帯を挟んだり、あるいは、同一岩盤上と考えられる部分に位置したりするように考慮して配置したものである。

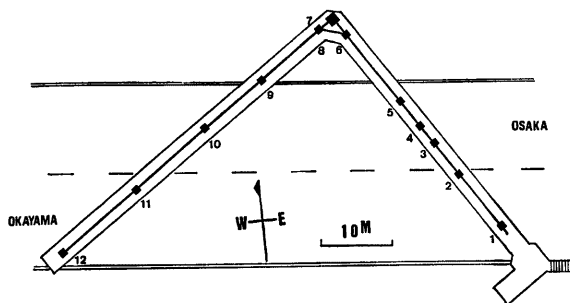


Fig. 2 Arrangement of the extensometer sensors in the Yasutomi Observation Tunnel at the Yamasaki Fault. Numerals denote the number of sensors.

これら各センサーによる測定値は、坑内観測室に集められる。各センサーの感度検定、経年変化量の積算によるゼロ位置の補正等は、この坑内観測室より遠隔操作にて実施される。測定データは、遮断周期2分のローパスフィルタを通した後、約80m離れた地表の観測室から、他の種々の観測データと共に、1分サンプリングのデータとして防災研ヘテルメータ伝送される⁹⁾。

今回の解析には、1時間サンプリングの値を用いた。長期間の観測の間には、種々の原因による欠測や、いわゆるデータの「トビ」が生ずる事がある。これらの主たる原因は、トンネル内に設置した測定回路の劣化と、雷の影響である。これらによる「トビ」は、できるだけ原データの数値や、打点式記録計によるモニター記録等を参照しながら、作図法により補正した。

3. 伸縮変化の考察

Fig. 3 に1975年11月～1982年12月の伸縮計によって得られた歪変化を示す。1本の伸縮計パイプに5～6個のセンサーが設置してあるので、固定端に対する各センサーの相対変位だけでなく、任意のセンサー間の変位差から適当な区間歪を求める事ができる。**Fig. 3(a)** は、固定端と各センサー間の歪変化、**Fig. 3(b)**、**(c)** は各センサー間の歪（区間歪）を示す。

まず年周変化について述べる。図に見られるように、経年変化に重畳している年周変化の振巾は、およそ 10^{-5} strain である。この原因は、トンネルのかぶりか浅いために、地表面の温度の年変化が熱伝導により伸縮計設置基盤に伝わって、熱変形を生ぜしめたものであろう¹¹⁾。このことは、坑道内の空気温度、水温の変動、坑道内壁面の結露の様相、坑道各部のかぶりの差等から検証されるが、その定量的な解析は他にゆずる¹²⁾。また、頻繁に、縮み方向に現れているスパイク状の変化は降雨の影響であって、これについても本稿では触れない¹³⁾。

次に、この年周変化量を差し引いた残りの変動、すなわち、経年変化について述べる。

まず NW-SE 方向の伸縮計について議論する。固定端と各センサー間の歪変化は、一般に、その間に含まれる区間歪を長さ方向に積分して距離で割ったものと考えられる。特に固定端と1番のセンサー間の歪、あるいは2番のセンサーまでの歪（これらを夫々0-1、0-2と表わすこととする）と云った長い部分の歪変化は、NW-SE 方向の歪の平均的傾向を表わしていると考えられる。これによると、観測開始以来、単調に伸び傾向にあったものが、1979年前後に折れまがりを見せ、平衡状態、あるいは、縮みに転じている。この傾向は1～2年続き、1981年前後に再び伸びに転じているように見える。すなわち、約7年間の観測期間中に「伸→縮→伸」の変化が見られるようである。比較的観測条件の良い0-2成分について、この初めの伸びの期間の歪速度は、約 3×10^{-6} strain/year である。また、7年間を平均すると、約 1.8×10^{-6} strain/year で、いずれも伸び傾向である。今、安富断層と呼ばれる、山崎断層系の、観測坑近傍部分の破碎帯域巾を仮に100mとし、伸縮計はこの巾の内部に含まれると仮定する。上記の歪速度を100mの破碎帯域巾に延長して概算すると、その左ズレ変位速度は、約0.17mm/year となり、この地域に云われる第四紀の平均変位速度0.3mm/year¹⁾と比較すると、その6割に達する。このことを単純に考えれば、クリープ運動の存在を意味する。しかし0-1成分について見れば、殆んど平衡状態であり、0-3成分について見れば、7年間でむしろ縮み傾向すら認められる。これらの事から、100m余りあると云われる山崎断層の破碎帯域巾の全体が一様の歪速度で変形していると考えてはいけない事が判る。こう云った破碎帯域内に設置された伸縮計の場合、その設置基盤の内部や周辺にどのような破碎帯を含んでいるかを充分に考慮して記録を解析する必要がある。

次にこの方向の区間歪について述べる。前述のとうり区間歪はセンサー相互間部分についての平均的歪であり、伸縮計設置基盤の各部位の局所的な変動を表わすものである。やはり、年周変化を差し引いて考えれば、**Fig. 3(b)** に見られるように、2-3、4-5の区間は伸び、1-2、3-4、5-6は縮みの傾向にある。すなわち、伸びたり縮んだりする部分が交互に分布している事になり、先に述べた、破碎帯域は、全体として一様の動きは示さないとの考えを支持している。しかしながら、特筆すべきは、先に述べた、1979年前後、1981年前後に出現する経年変化の折れまがりは各区間歪のいずれにも認められる事である。特に、1-2、2-3、4-5と

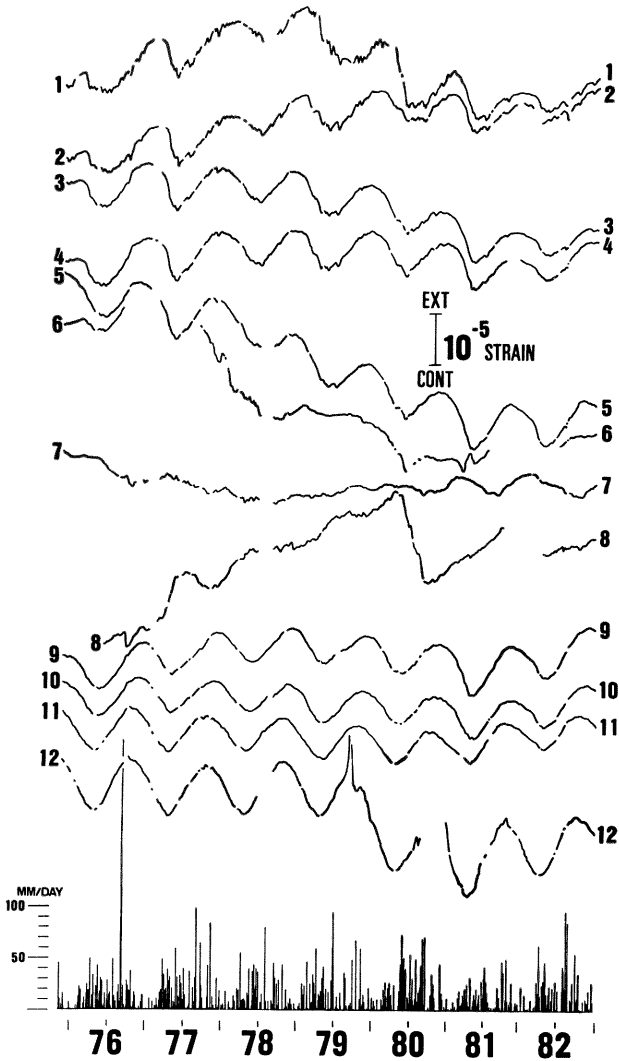


Fig. 3 (a) Strain change and daily precipitation Numerals denote the strain change between the sensors of that number and the fixed point of the extensometer lod.

云った破砕度の高い部分や破砕帯を挟む部分の帯には、顕著に出現しているようである。これらから、NW-SE 方向の伸縮計全体として認められる伸びの傾向は、主として、破砕帯部分あるいは破砕度の高い部分に依存しており、かつそれらの区間帯は、短スパンの伸縮計となるにもかかわらず、長期的変動についても明瞭に対応している。また降雨に対するレスポンスも大きい。これらの事から、破砕帯は、活断層の挙動を調

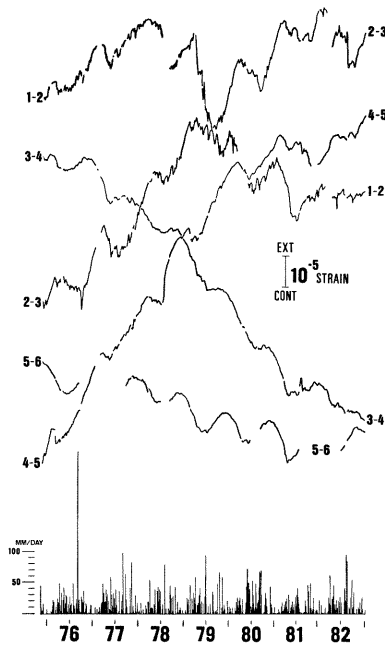


Fig. 3 (b) Strain change between two sensors.

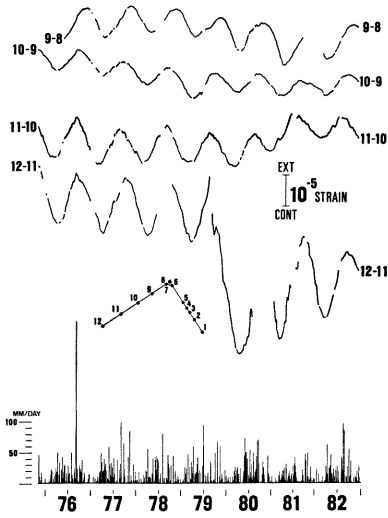


Fig. 3 (c) Strain change between two sensors.

べる上での、いわゆる「ツボ」になっている可能性が高い。

次に NE-SW 方向の伸縮計について議論する。この伸縮計の設置基盤は、設置条件が悪い12番を除いて、比較的破碎度が低い。それ故、固定端とセンサー間の歪および各センサー間の区間歪のいずれも、その歪変化量は同程度である。すなわち、伸縮計の基盤全体が、前述の NW-SE 方向の坑道の場合とは逆に、大体一様に変動している事を示している。そしてこれは、同じ山崎断層破碎帯域に含まれながら、しかもその断層方向に数十mしか離れていない部分でも、破碎の状態が大きく異り得ることを示している。次に経年変化について考える。この NE-SW 方向の伸縮計の場合、年周変化量は NE-SW 方向の伸縮計と同程度であるが、これを取り除いたあとの経年変化量は概して小さい。しかし、前述の長期的な傾向変化は、0-10、0-11、10-11等にやはり認められる。特に、10-11の変動は、0-1、0-2、2-3、4-5の場合とその方向が逆になっている。すなわち、当初より縮み傾向にあったものが、1979年前後より伸びに転じ、1981年前後に再び縮みに転じたようである。他方に比べて比較的安定な地盤の、NE-SW 方向の伸縮計設置基盤のなかで、10-11の部分に、断層粘土を含む明瞭な破碎帯が存在している。この破碎帯と、2-3の間の破碎帯が同一のものである保障はないが、両区間が相補的な動きを示すことは興味深い。ただし、その変動量は大きく異り、ひとつの破碎帯の単純な横ズレ運動では説明し得ない。

次に、基線網測定の結果と伸縮計による観測結果を比較する。山崎断層地震予知テストフィールド事業のひとつの安富春基線網の光波測量は、1975年以来、定期的に毎年一回、11月～12月に実施されている。基線網は、断層を挟んで設置された標石群よりなり、その網の内部に安富観測坑を含んでいる。この基線網測定の結果⁽⁴⁾のうち、NE-SW 方向の伸縮計の方向に近い1-3基線、および NE-SW 方向の伸縮計の方向に近い

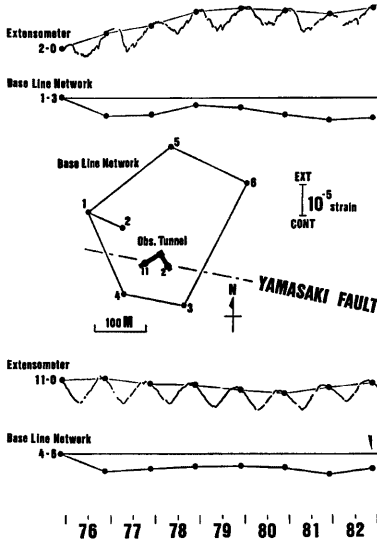


Fig. 4 Comparison between the strain change obtained by extensometers and that of Base Line Network in corresponding direction. The relation of location between Base Line Network and Observation Tunnel is indicated too.

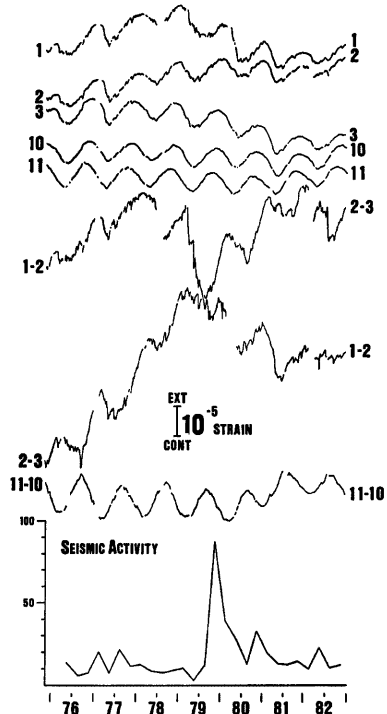


Fig. 5 Comparison between the Seismic Activity (newly defined by Tsukuda (1983)) around the Yamasaki Fault and the change of strain by extensometers.

い4-6基線の歪変化を採用し、伸縮計の結果と重ねたものが Fig.4 である。伸縮計の結果については、季節変化を考慮して、光波測量の実施時期の値を折れ線をつないでいる。これによると、双方の観測が開始された、1975年～1976年の変化は大きく異なるが、それ以後については、その変動傾向が良く似ているようである。スパン約300mの基線測量の結果と、約30mの伸縮計の記録とが良く似た長期的変動傾向を捕えることができたという事は、これらが活断層の長期的運動を研究するための有力なデータであることを示している。

更に範囲を広くとって、山崎断層周辺の地震活動と伸縮変化を比較する。鳥取微小地震観測所の観測データから、山崎断層を含む東西80km、南北50kmの範囲内の地震活動度¹⁵⁾を3カ月毎に図示し、伸縮変化と比較したものが Fig. 5 である。1979年～1980年の活発な活動の時期は、伸縮計各成分にみられる、変動傾向が変化する時期にほぼ一致する。すなわち、山崎断層近傍の地震活動と安富観測坑の伸縮変化に見られる長期的変動との間には、密接な関連がある。地震活動、基線測量、および坑道内の伸縮変化の間に、数年の長期的変動について明瞭な相関が見られると云う事は、地震の長期的予知に重要な手がかりを与えるものである。

4. ま と め

山崎断層観測室安富観測坑における1975年11月～1982年12月の伸縮計による観測結果をまとめた。それにより、次の事が明らかとなった。

- (1) 外気温の年変化の影響と考えられる、 10^{-5} strain 程度の振巾の年周変化が認められる。
- (2) 年周変化を差し引いた経年変化量は、 10^{-6} strain のオーダーである。これは、同一方向への単調な変動ではなく、1979年前後、1981年前後にその変動傾向を変えている。
- (3) この変動傾向の変化は、基線網測量の結果や、山崎断層周辺の地震活動度とも対応しており、長期的予知の手がかりとなる。
- (4) 破碎帯域の区間歪は、特に、NW-SE 方向の伸縮計の場合、その設置基盤全体が一様の変動を示している訳ではなく、局所的には、数m離れた所でも異った大きさの、あるいは、逆方向の変動を示している。断層を挟む岩体の相対運動は、このような動きの重ね合わせとして理解すべきである。
- (5) しかし、これら区間歪には、長期間にわたる変動傾向の変化とともに、降雨による影響、長周期地震波による歪波形の局所性¹⁶⁾など短周期の変動も捕えられている。すなわち、破碎帯域に設置した短スパンの伸縮計は、断層の挙動を知るための重要な情報を得る有力な手段である。

謝 辞

観測・解析に種々御協力を頂いた、日本道路公団の関係者の方々、松尾成光、古賀光子両氏をはじめ、防災研究所微小地震部門の方々、同防災科学資料センター松村一男氏に厚く御礼申し上げます。また、貴重な測量結果を提供して頂いた、京大物理学部地球物理学教室、藤森邦夫氏はじめ測量グループの方々、および、有益な御助言を頂いた同教室田中豊氏に感謝いたします。なお、この研究は、地震予知計画に基く特別事業費により行われたものであります。計算は、防災科学資料センター FACOM 150F および OKITAC 50/10 ミニコンシステムにより実施した。

参 考 文 献

- 1) 活断層研究会編：日本の活断層一分布図と資料一，東京大学出版会，1980。
- 2) 福井謙三：山崎断層系の変位地形，地理学評論，54-4，1981，pp. 196-213。
- 3) 尾池和夫・岸本兆方：地震予知テストフィールドとしての山崎断層，地震予知研究シンポジウム(1976年12月13日・14日・15日)，1977，pp. 83-90。
- 4) 吉岡龍馬：山崎断層塩田温泉の塩素濃度と地震現象との関連，京都大学防災研究所年報，第21号，B-1，1978，pp. 37-41。
- 5) 岸本兆方：山崎断層テストフィールドにおける地震予知実験，地震予知研究シンポジウム (1980)，1980，pp. 133-142。
- 6) 尾池和夫：山崎断層の挙動と地震予知，科学，Vol. 47, No. 8, 1977, pp. 450-456。
- 7) Oike, K.: SEISMIC ACTIVITY AND CRUSTAL MOVEMENT ON THE YAMASAKI FAULT IN SOUTHWEST JAPAN, Physics of the Earth and Planetary Interiors, vol. 18, 1979, pp. 341-344。
- 8) Kishimoto, Y.: On Precursory Phenomena Observed at the Yamasaki Fault, Southwest Japan, As a Test-Field for Earthquake Prediction, Earthquake Prediction - An International Review-, Maurice Ewing Series 4, American Geophysical Union, 1981, pp. 510-516。
- 9) 尾池和夫・渡辺邦彦・中村佳重郎・谷口慶祐・岸本兆方：山崎断層地震予知テストフィールド連続観測システムについて，京都大学防災研究所年報，第24号，B-1，1981，pp. 29-40。
- 10) 尾池和夫・中村佳重郎：山崎断層における伸縮変化の連続観測結果，京都大学防災研究所年報，第21

- 号, B-1, 1978, pp. 11-18.
- 11) 田中 豊 : 地殻変動の年変化と観測点の深さ, 日本測地学会第38会講演要旨, 1972, pp. 19.
 - 12) 渡辺邦彦 : 山崎断層安富観測坑伸縮計記録に見られる気象影響 (1), 京都大学防災研究所研究発表講演会 (講演番号19), 1983.
 - 13) 中村佳重郎・尾池和夫 : 山崎断層における伸縮変化と降雨の関係について, 京都大学防災研究所年報 第23号, B-1, 1980, pp. 77-85.
 - 14) 藤森邦夫 : 測量 (山崎断層テストフィールド・シンポジウム (1983)), 1983 (印刷中).
 - 15) 佃 為成 : 拡張された b 値とその時間変化, 地震学会講演予稿集, No. 1, 1983, pp. 275.
 - 16) 谷口慶祐・尾池和夫 : 山崎断層破碎帯の遠地震表面波に対する応答特性, 京都大学防災研究所年報 第25号, B-1, 1982, pp. 101-113.