

山崎断層における伸縮変化の連続観測結果

尾 池 和 夫・中 村 佳重郎

RESULTS OF CONTINUOUS OBSERVATION BY EXTENSOMETERS AT THE YAMASAKI FAULT

By Kazuo OIKE and Kajuro NAKAMURA

Synopsis

Continuous observation by 12 components of extensometers at the Yamasaki fault have produced some significant results concerning the nature of active fault. Long period movement of the fault calculated from strain variations shows the left-lateral slip motion of the fault. Short period strain variations have been observed larger by the components crossing the fractured zone than by the components in the bed rock outside the fractured zone.

It is important that a few days after short period movements by heavy rainfall seismic activity along the fault increases.

1. は じ め に

1975年兵庫県粟粟郡安富町春（うすずく）に新設された安富観測坑は、山崎断層の破碎帯を横切り、中国自動車道の路面から直下約8mの所にある。比較的薄いかぶりと、坑内の破碎帯の存在のために、伸縮計の記録計には従来の深い観測坑での記録に比べて、約1桁大きな気象変化の影響が現われる。ここでの観測の一つの目的は、このような浅い場所で、しかも破碎帯で地殻変動の連続記録を実施し、従来のなるべく深い均質な岩盤の中での測定の結果と比較しながら、活断層の性質を調べる方法論についても新しい資料を提供しようということにある。

同じデータであっても、研究目的によって信号とノイズとの関係に対する考え方はさまざまとなる。この論文では、ノイズの中の大きな要素を温度変化によるひずみの年周変化にあると考え、それを除去し、短周期変動と地震発生との関係や、長期の断層の動きを調べることを試みた。

2. 観測方式及びデータ 処理方法

観測坑内の計器の配置や破碎帯の

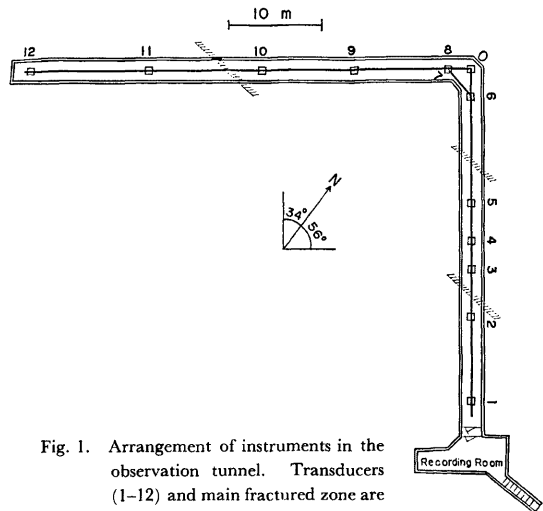


Fig. 1. Arrangement of instruments in the observation tunnel. Transducers (1-12) and main fractured zone are shown.

分布を Fig. 1 に示す。伸縮変化は、差動トランス型の変位計を用いて、変位を電圧変化に変換して記録している。1～6 番の変位計は、N34°W の方向に、7 番は N72°W 方向に、8～12 番は N56°E 方向にそれぞれ設置したスーパーアンバー・パイプに取付けられている。1～6 および 8～12 の測定点に対する固定端は共通で 0 番を附した。又、7 の測定点に対する固定端は 6 の測定点と同じ台である。固定端から各変位計までの距離や変位に対する感度を Table 1 に示す。感度は種々の理由により時々変更されているが、自然に変化することはほとんどなく非常によく安定している。変位計設置点間の間隔には長短があるが、これは、破碎帯の存在や岩盤の状態を考慮して配置したためである。坑内に 4 カ所白金抵抗温度計を設置して温度を測定している。1976 年 12 月からは、さらに各変位計の台および湧水カ所の計 15 カ所にサーミスタを置いて温度測定を行っている。変位計の分解能は約 0.002 μ m、白金抵抗温度計は 0.05°C、サーミスタは 0.001°C である。これらの他に観測坑入口付近で気温、気圧、降雨量の気象観測も行っている。

伸縮変化、坑内温度変化については、 ± 200.00 mV の範囲で 1 時間に 1 回の割合で出力電圧の数値が記録紙に印字される。無人観測を続けているが、記録計のダイナミックレンジが広いので、オーバーレンジによる欠測はほとんどない。ただし、1977 年には停電による欠測が数回あった。このような場合には、記録の欠測期間の前後の値を保存することによって、長期変動を見ることには問題はない。オーバーレンジによる欠測の場合には、記録をつなぐために少々工夫を必要とする。安富観測坑の場合は、同一の基準尺に数個の変

Table 1. Constants at Yasutomi station.

Component		1	2	3	4	5	6
Length (m)		35.78	26.86	21.49	18.60	14.55	3.02
Direction		N34°W					
Sensitivity ($\times 10^{-9}$ Strain/mV)	Period						
	12 Oct 75						
	00 h 00 m—	3.95	23.30	22.70	22.00	45.70	168.00
	23 Jan 76						
	15 h 00 m—	7.68	9.17	8.93	9.07	7.04	33.62
	27 Mar 76						
	15 h 00 m—	5.71	4.69	4.44	5.41	6.93	33.41
	19 Apr 76						
	15 h 00 m—	7.62	9.40	8.90	9.02	6.93	33.41
	4 Nov 76						
Sensitivity ($\times 10^{-9}$ Strain/mV)	15 h 59 m—	15.79	18.25	18.39	17.06	13.77	34.38
	12 Apr 77						
	16 h 12 m—	7.62	9.40	8.90	9.02	6.93	33.41
Component		7	8	9	10	11	12
Length (m)		3.82	2.40	12.76	22.76	34.83	47.89
Direction		N72°W		N56°E			
Sensitivity ($\times 10^{-9}$ Strain/mV)	Period						
	12 Oct 75						
	00 h 00 m—	131.00	40.70	49.40	23.00	13.60	2.01
	23 Jan 76						
	15 h 00 m—	25.22	40.97	7.90	8.82	9.14	10.55
	27 Mar 76						
	15 h 00 m—	26.31	42.13	8.02	4.87	4.58	4.87
	19 Apr 76						
	15 h 00 m—	26.31	42.13	8.02	8.79	9.23	10.93
	4 Nov 76						
Sensitivity ($\times 10^{-9}$ Strain/mV)	15 h 59 m—	28.64	40.81	15.89	17.57	19.80	21.75
	12 Apr 77						
	16 h 12 m—	26.31	42.13	8.02	8.79	9.23	10.93

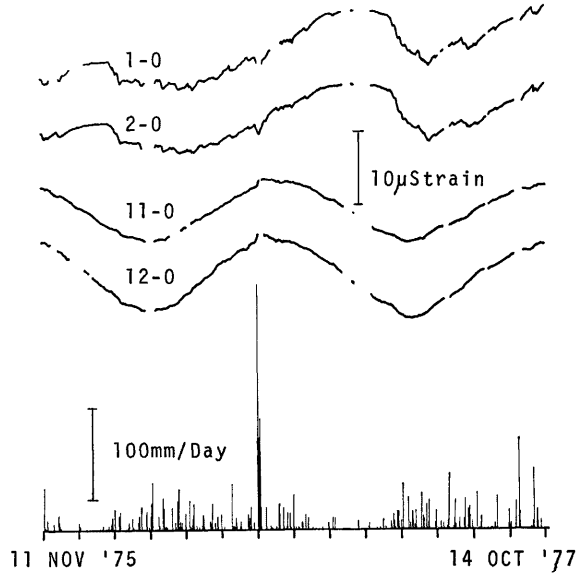


Fig. 2. Examples of the strain variation.

1-0, 2-0, 11-0 and 12-0 mean components between the transducers shown in Fig. 1 and the fixed point (0). The lowest shows daily precipitation.

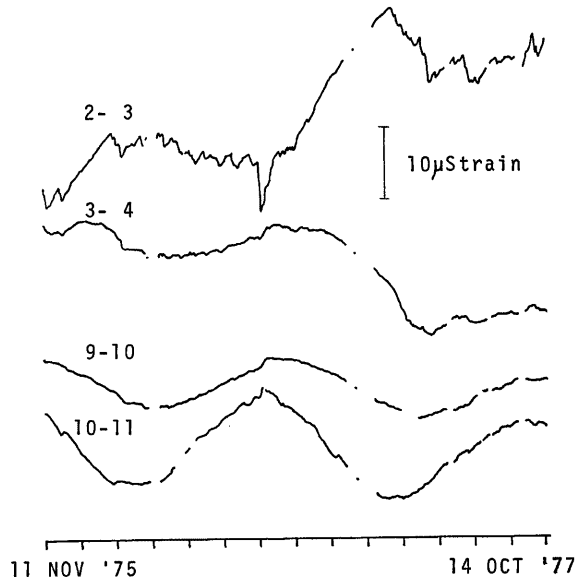


Fig. 3. Examples of the strain variation between two points shown in Fig. 1.

2-3 and 10-11 are examples crossing the fractured zone and 3-4 and 9-10 are those with bed rock only between two observation points.

位計が取付けられているので、欠測していない成分の記録を参考にして合理的に記録をつなぐことができた。このようにして得られた記録から日平均値を計算して、その変化を例示したのが Fig. 2 である。

任意の 2 点を結ぶ区間の選び方は全部で 37 通りあり、それぞれの区間は、岩盤であったり、破碎帯をまたいでいたり、色々である。Fig. 3 には、N34°W 及び N56°E 方向の成分の中から、岩盤のみの部分と破碎帯を横切る成分とについて代表例を示した。

3. 解析結果と考察

ひずみの変化は、坑内温度の年周変化の影響と、長期の直線的なずれの運動の重ね合わせによって近似されるとすれば、回帰式は次のように表わされる。

$$S(t) = aT(t - \tau) + bt + c$$

ただし、 $S(t)$: 時刻 t (日) におけるひずみ、

$T(t)$: 時刻 t (日) における坑内温度 (°C)、

τ : 坑内温度変化に対するひずみ変化の位相の遅れ (日)、

a, b, c : 坑内温度変化、時刻についての回帰係数および定数。

この式を用いて、ひずみの日平均値のデータから、各成分について回帰分析を行った。坑内温度のデータとしては、白金抵抗温度計の毎日 0 時の値を採用した。坑内温度の日変化量は非常に小さく、このサンプリングデータで充分である。

上の式で τ を変化させて分散比を求めた結果を Fig. 4 に示す。この図に示された各成分のパターンから、位相差やその分解能などをみることができる。特に Fig. 4(b) の 5-6 の場合のように、ピークの位置が 2 カ所存在することもあり、単に計算結果の数値を見るだけでなく、ひずみ変化の様子を定性的に把握することができる。

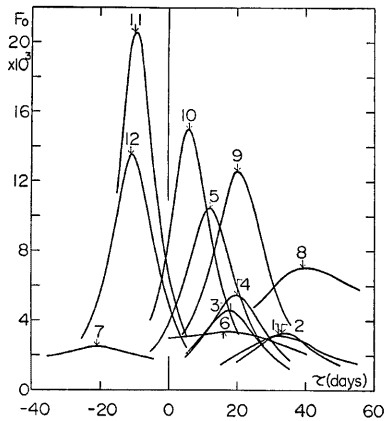


Fig. 4(a). Variations of the ratio of variance (F_0) with the change of phase lag (τ) for strain variation between each point and fixed end.

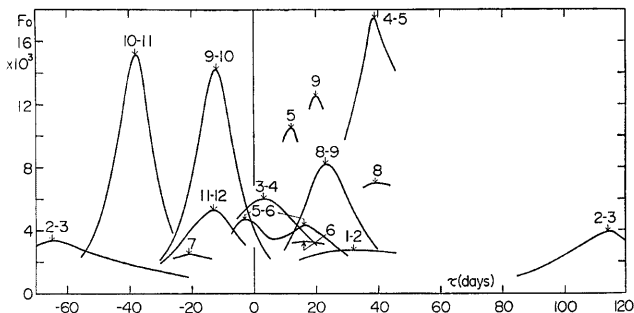


Fig. 4(b). Variations of the ratio of variance (F_0) with the change of phase lag (τ) for strain between two observational points.

Fig. 4(a) についてみると、1および2成分は分散比の値が他に比べて小さい。それは、これらの成分の測定台がちょうど最も軟弱な地盤の所にあり、また、2-3の間に破砕帯をはさんでいることによって、気温以外の影響を大きく受けているため、複雑なパターンを示しているからであろう。6, 7は測定距離が短かくまた計器自身の不調もあって、あまり良い記録が得られていない。特に7は自動車道に平行で短かく3.82 mしかない。自動車振動をアナログレコーダで観測した記録によると、大型自動車によるノイズは 3×10^{-8} 程度となる。フィルターを工夫するなど適当な調整をすれば、限られた目的に対してはこのような短いスパンでも充分記録が得られる。

位相のずれを Fig. 4(a) から見ると、1～6は比較的まとまっているのに対して、8～12は順に位相が進んでいることがわかる。坑内温度よりも進んでいることは、むしろ外気温に近い変化をしていることを意味する。12の位置は、道路工事前にもっともかぶりの少い谷筋に当たっていたことに原因があると思われる。

Fig. 4(b) には、各区間のひずみ変化に関する分散比が示されている。これらの結果が、破砕帯や岩盤それぞれの動きの様子をよく示している。特に破砕帯を横切る成分(2-3)の位相は大きくずれており、岩盤部分とは異なる動きをしていることが明らかである。

Fig. 4のピークの位置から τ を求め、坑内温度変化に対する回帰係数 a を求める。Fig. 5にその結果を

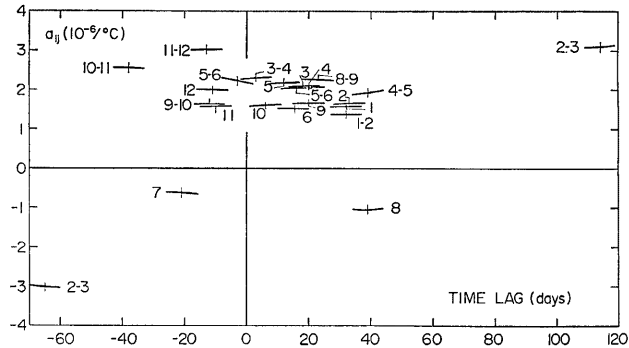


Fig. 5. Change of regression coefficients (a_{ij}) against temperature with change of phase lag (τ).

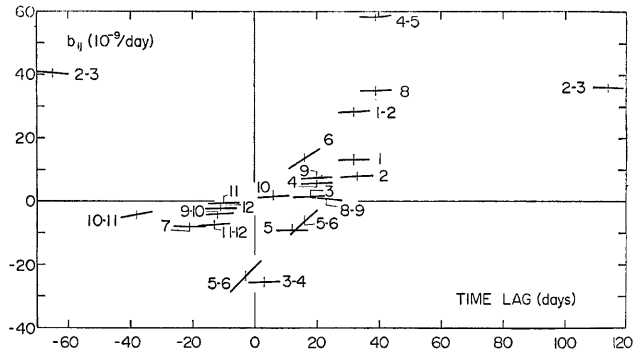


Fig. 6. Change of regression coefficients (b_{ij}) against time with change of phase lag (τ).

示す。 α の値の安定性を調べるため τ の値の変化に対して α の変化を示してある。5-6 成分以外については α の値は位相のずれ τ の値の微小変化に対してよく安定している。その大きさはほぼ $2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ であり、この値は、一般の岩石やコンクリートより少し小さいか、ほぼ等しい。坑内への熱の伝播に関する Gutenberg¹⁾ の表に比べると、坑内温度変化はほぼ一致するか所によっては大きい。これは柳沢²⁾ も述べているように、坑内の空気が熱の移動に大きな役割を果していることを示していると考えられる。これらのことから、ひずみの年周変化の大部分は、観測坑周辺の岩盤の熱膨張に原因があると考えられる。

ひずみ変化の時間に対する直線的变化を表わす回帰係数、 b を求めた結果は、 α と同じ方法で Fig. 6 に示されている。6 以外については、やはり位相の微小変化によらず安定している。8, 9 成分を除くと、全体として N34°W 方向の成分の b の値は、N56°E 方向の値よりも大きい。このことから、断層が左ずれの動きをする傾向があると解釈できる。ごく大ざっぱにそのずれの量を 100m の巾に平均的に存在するとして変

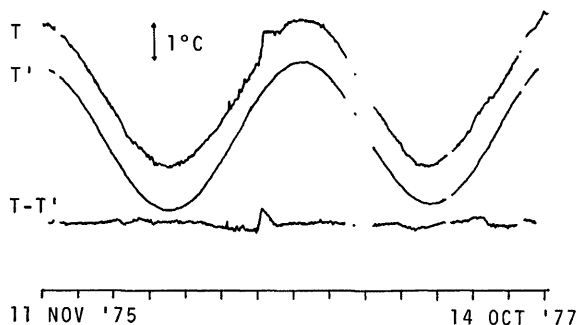


Fig. 7. Real temperature variation and its approximated curve. The lowest shows residual variation.

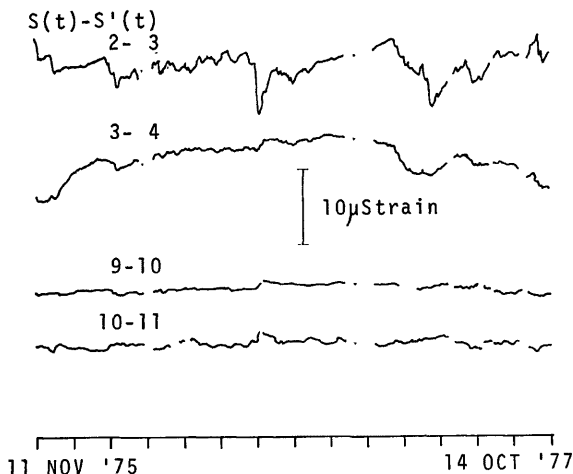


Fig. 8. Examples of short period strain variations calculated by compensating the effect of seasonal variation of temperature.

位量を計算すれば約 0.5mm/年となる。地形と地質から推定された平均の横ずれ速度よりは小さい値となるが²⁾、この点に関しては破壊帯の分布や長期間のデータおよび測量結果などから、さらに検討を加えなければならない。

短周期のひずみ変化を詳しく調べるため、以上の結果を利用して年周変化などを除去する。坑内温度の変化は次の式で近似される。

$$T'(t) = a' \cos(t - \tau') + b't + c'$$

この近似式の結果と残差を Fig. 7 に示す。このようにして求めた T' を用いて、ひずみ変化の長周期成分 $S'(t)$ を次式により計算する。

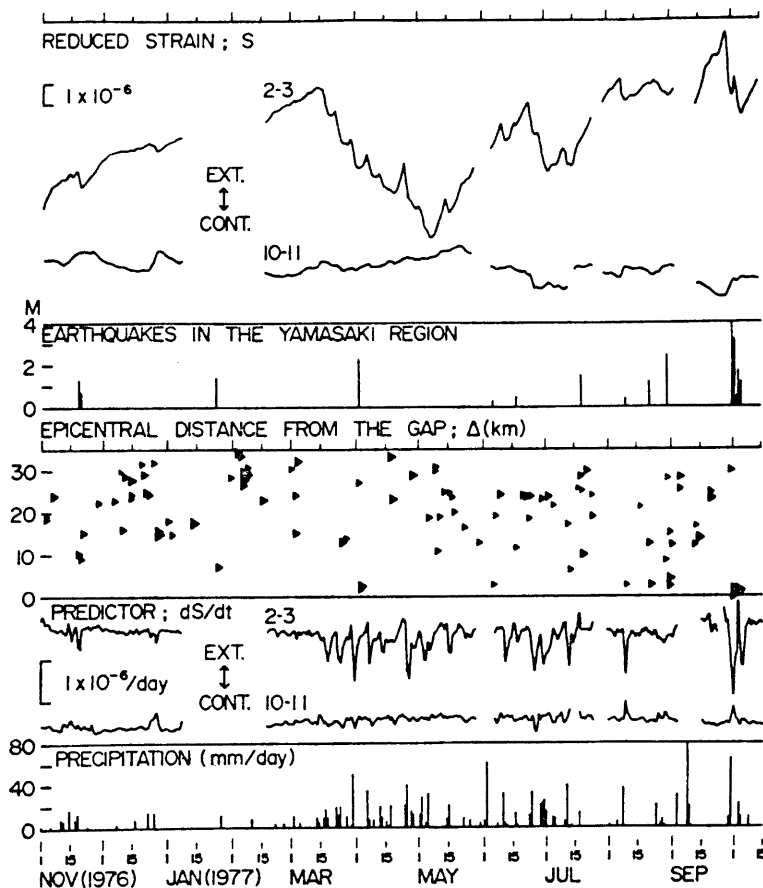


Fig. 9. Relation between seismic activity and strain variation. From the top to the bottom, short period strain, earthquake, epicentral distance from the tunnel, strain rate per day and daily precipitation are shown.

$$S'(t) = aT'(t - \tau) + bt + c$$

これにより長周期の温度変化の影響と直線的なずれを除いた残差 $S-S'$ を Fig. 8 に示す。図に示された短周期変動の中で、最も目立っているのは、降雨による影響である。これらは破砕帯を含む成分に大きく現われ、岩盤のみの成分には非常に小さく現われている。そのパターンは一定ではなく、季節によって逆向きに動くこともある。降雨と地震活動との関係については、山崎断層やその他の地域について議論されているが^{4), 5)}、降雨の影響が特に大きく現われた後地震が発生する場合が多い。これらについての定量的な検討は将来の課題である⁶⁾⁻⁹⁾。

短周期変動を特に見やすくするため、ひずみの変化率を前日との差で示したのが Fig. 9 である。破砕帯を含む2方向の成分の結果と、地震活動および降雨量などが比較して示されている。観測坑付近の地震活動の空白域について、周辺の活動がはじまる月以後、降雨とひずみ変化と地震発生との対応が見られる。1977年9月30日のM4の地震発生直前の破砕帯の動きは特に顕著であった。

4. ま と め

安富観測坑においては、かぶりが少ないため気象変化の影響が大きいが、その中でも最大の振巾をもつ年周変化に関しては、基盤の温度変化による熱膨張を考慮することによってノイズとして除去することができる。

長期間にわたるずれ運動に関しては、山崎断層の平均的な左ずれ運動と定性的には良く一致した結果が得られるが、さらに詳しく検討する必要がある。

短周期変動の中で、降雨による影響は破砕帯にのみ大きく現われるが、この動きと地震発生との関係は特に重要である。降雨の影響が特に大きく現われるとその数日後に地震活動が活発になることがある。この性質についても定量的な解析をしてさらに詳細な検討をする必要がある。

謝 辞

この研究を進めるにあたって、京都大学防災研究所岸本兆方教授および松村一男氏のご指導とご協力をいただいた。また、連続観測の実施について、日本道路公団福岡管理事務所の職員の方々に多大のご協力をいただいている。ここに深く感謝の意を表する。この研究は、山崎断層テストフィールドの研究計画を進めるための準備として行われたものであり、解析には防災研究所防災科学資料センターのFACOM 230-25を用いた。また、研究費の一部は51年度文部省科学研究費自然災害特別研究(2)-102515、および52年度同(2)-202527によった。

参 考 文 献

- 1) Gutenberg, B.: Internal Constitution of the Earth, McGRAW-HILL, 1939, p. 129.
- 2) 柳沢道夫: 鋸山地殻変動観測所における坑内温度の年変化計測, 測地学会誌, 第19巻, 第4号, 1973, pp. 225-232.
- 3) 松田時彦: 活断層と地震—その地質学的研究, 地質学論集, 12, 1976, pp. 15-32.
- 4) 尾池和夫: 降雨と地震発生との関係について, 京都大学防災研究所年報, 第20号B-1, 1977, pp. 35-45.
- 5) 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, pp. 83-90.
- 6) 飯田汲事・志知龍一・松浦 宏: 犬山における地殻変動の連続観測, 測地学会誌, 第14巻, 第4号, 1969, pp. 144-155.
- 7) 志知龍一・松浦 宏・飯田汲事: 犬山における地殻変動の連続観測(II), 測地学会誌, 第16巻, 第3号, 1970, pp. 177-189.
- 8) 山内常生・志知龍一・飯田汲事: 地殻変動の連続記録に現われる降雨によるノイズについて, 測地学会誌, 第16巻, 第4号, 1970, pp. 202-208.
- 9) 石井 紘・佐藤俊也・立花憲司: 秋田地殻変動観測所における地殻変動観測(2), 測地学会誌, 第19巻, 第3号, 1973, pp. 135-144.