

# 地殻変動の長期配列観測（旧逢坂山トンネル）

小 沢 泉 夫

## ARRAY OBSERVATIONS OF THE CRUSTAL MOVEMENT IN THE OLD OSAKAYAMA TUNNEL FOR LONG PERIOD

By *Izuo OZAWA*

### Synopsis

The array observations by uses of 3 extensometers and 2 water-tube tiltmeters in the old Osakayama tunnel since around 1960.

The daily extensions for the short period which is shorter than 50 days are different among even the same components in the near sites. It seems that these differences are caused by the delay and others of the saturation of the precipitation.

According to these observations, the ground base around the tunnel has been contracted as  $10^{-5}$  in the direction of S38°W for recent 22 years. And the ground has been tilted down as  $1''$  in the direction of N38°E.

### 1. はじめに

微小な地殻のひずみを観測する目的で長い坑道の中の異なった点で同一成分を観測している場合、位置によって非常に異なった様相の変化が観測されることがしばしばある。例えば降雨の影響を例にとると、地表の形が平坦でないこと、地盤の構造が複雑であることなどによって降水の浸透が場所によって様でなくそれによって生ずる応力も同様でないで、それによるひずみも同様でない。

また、strain step のようにそのものの応力が広い領域で同様であっても地盤に不連続があるときは単調でないひずみの分布をする。Fig. 1 の一番上は無限連体の中に円柱孔がある場合で、円柱孔から充分遠方にある点、A、D と孔の周辺 B、C とでは応力のある成分は逆センスとなる。一般に、割目や空隙があると同様な現象が発生する。Fig. 1 の一番下は図のように基盤の上面が一平面でない場合で、基盤の遠方では様な力が作用しているとき、図のような基盤と堆積層とにまたがる基線と全く基盤の中にある基線とは成分は同じであっても伸縮が逆センスになることがある。Fig. 1 の上から2番目は地質学的によく言われている褶曲変動の場合で波状の層の山と谷とでは逆センスのひずみになる。また、Fig. 1 の3番目は山の頂上と麓とでは遠方では様な応力が作用しているも山による重力の作用で逆センスになることが考えられる。

そのほか地盤の構成物質には弾性係数の相違だけでなく、殊に長期の変動には塑性変形に関する係数、例えば粘性係数に大きな相違があり、物質によりその相違は  $10^4$  であることも珍しくはない。

しかし、ひずみの不均一は応力の不均一による方が媒質の不均一によるものよりも大きいであろう。

降雨のすぐ後の変動が地震に関係があるであろうと思われる変動とまぎらわしいことはしばしば経験される。そこで比較的近接している2点以上の基線で同一成分の観測を行なって局所的な応力に起因する変動と地震に関係すると思われる広域にわたって様な変動とを判別する目的で旧逢坂山トンネルの中で、トンネルがあることによる影響の少ないトンネルの長さの方向の成分の配列観測の実験を行なってきた。

Table 1. Constants of the Instruments

| Component            | Type, Measure, Sensor                | Position from Otsu entrance (Span) | Sensitivity                | Epoch of observation |
|----------------------|--------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|----------------------|
| Extensometer         |                                      |                                    | $\times 10^{-8}/\text{mm}$ |                      |
| L2                   | H-59-B type Invar rod Pendulum       | 506-518 m (12 m)                   | 0.155-0.549                | Mar., 1960           |
| R1                   | Roller-type Invar rod Pivot-roller   | 360-379.5 m (19.5 m)               | 1.3                        | Oct., 1951           |
| R3                   | Roller-type Silica-tube Pivot-roller | 40-142 m (102 m)                   | 0.73                       | Jun., 1975           |
| Water tube tiltmeter |                                      |                                    |                            |                      |
| WT.1                 | Micrometer-reading                   | 282-310 m (28 m)                   | 0.037"/div.                | Mar., 1949           |
| WT.2                 | Micrometer-reading                   | 110-170 m (60 m)                   | 0.017"/div. (0.00364"/mm)  | May, 1961            |

## 2. 観測と解析

この観測は旧東海道線の逢坂山トンネルの中で行なった。このトンネルの長さは約 670 m で、S 38° W の方向にある。附近の地層は秩父古生層に属する粘板岩、頁岩から成る複雑な地層であるといわれる。観測位置は東経 135° 54′、北緯 34° 59′ 附近である。

地表の地形とトンネル、観測点の位置の断面図を Fig. 2 に示す。観測は伸縮、傾斜共にトンネルの形の影響の少ないトンネルの方向、S 38° W 方向の成分について行なった。

Table 1 に観測計器の位置、常数、観測紀元等を示す。伸縮計 L2 の定尺は直径 1 cm のインバール棒、そのセンサーは水平振子で高感度である<sup>2)</sup>。伸縮計 R1 の定尺は直径 1 cm のインバール棒で、センサーはピボットローラーである。伸縮計 R3 の定尺は外径 7 cm、内径 5 cm のシリカパイプでセンサーはピボットローラーである。

水管傾斜計 WT.1 と WT.2 はともに両端でマイクロメーターで管内の水位を毎週読取り観測を行なっている。なお、WT.2 はその一端で連続記録観測を行なっている<sup>3)</sup>。

これらの計器の観測点の地表からの距離には大小の差は少ない。これらの計器は坑道の入口から R3, WT.2, WT.1, R1, L3 の順に設置されている。R3 の NE 端から L2 の SW 端までは 376 m である。

### 2.1 短期の変化

潮汐変化のようにグローバルな分布をし、且約 1 日より短い周期の変化については別に報告するように、観測位置の相違による特に大きい相違は見られなかった<sup>2)</sup>。

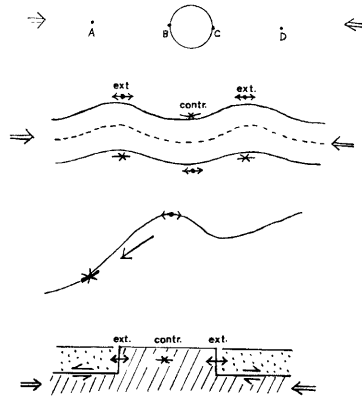


Fig. 1 Relations between the external force and the pattern of the stress and strain

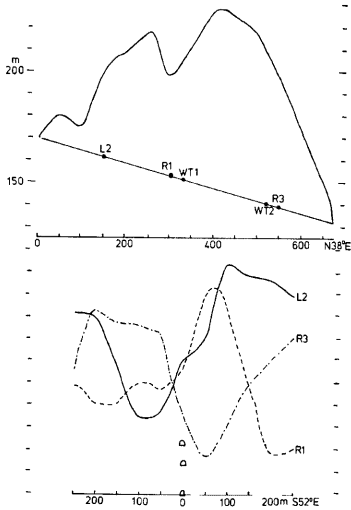


Fig. 2 The vertical geographical sections at observing sites. The upper diagram shows the section in the azimuth of S 38° W along the tunnel. The lower diagram shows the sections in the azimuth of S 52° E at the observing sites.

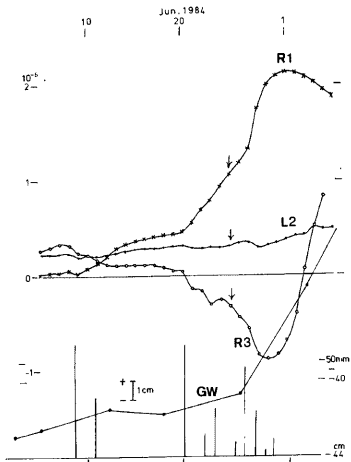


Fig. 3 (a) The curves of the daily values of L2, R1, R3 and the ground water level, GW, for the period from May 1 to June 1, 1984. The spectra show the daily precipitations.

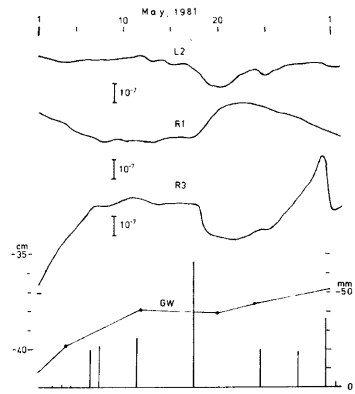


Fig. 3 (b) The curves of the daily values of L2, R1, R3 and the ground water level, GW, for the period from May 1 to June 1, 1981. The spectra show the daily precipitations.

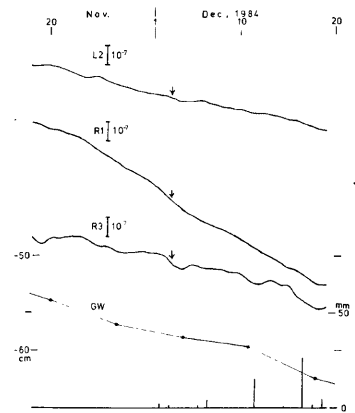


Fig. 3 (c) The curves of the daily values of L2, R1, R3 and the ground water level, GW, for the period from November 18 to December 20, 1984. The spectra show the daily precipitations.

約1カ月より短い期間の変化は降雨の影響のような年変化的なものが顕著で同一成分でも観測位置によって大きい相違を示した。

1984年6月25日、震央距離約14 km ( $131^{\circ}48.6'E$ ,  $35^{\circ}6.7'N$ ) 深さ16 km に  $M=4.3$  の地震があった。Fig. 2(a) はその前後の地下水位 (大津入口より約130 m の所) の読取り曲線、日降水量、R3, L2, R1 の伸縮曲線を示す。矢印は地震のあった時を示す。6月8日に59 mm, 6月10日に27 mm の降雨があったけれども2週間で約+2 cm の変化しかなく、地震のあった25日以降始めて1日当り+1 cm の速い水位上昇が発生した。また、伸縮も20日以降急速に増大し始め、地震のあった日から更に急激に増大した。しかし、L2, R1, R3 の間の伸縮のしかたには互に逆センスであるような相違がある。常時、平均してそうであるように、L2 は降雨の影響は少なく雨が降り始めると少々収縮し、その後ゆるやかに伸びに転ずる。R1 は降り始めると伸び始める。R3 は降り始めると収縮し始め、数日ないし約10日してから伸びに転ずる。Fig. 2(b) は3つの伸縮計の降雨に対する地震のなかったときの平均的な影響を示すような一例を示している。R3 は概して降雨に対する影響は大きいけれども渇水期の後の2~4月頃はR3の影響が他の成分よりも小さいことがある。恐らく雨後可成り後れてR3の所に浸透水が近づくかある程度雨が降り続かなければ雨の影響が現われ始めないであろう。

短期の変化のまとめの一つとして降雨の影響は100 mm に達するような降雨でも著しい影響は1カ月以内には判別できないくらいになり、それらは1年周期の変化の一部として処理されてよい状態になるようである。

Fig. 2(c) は1984年12月2日、京都市西北方の地震 ( $M=4.2$ ) の前後の変化を示す。この頃は乾燥期であ

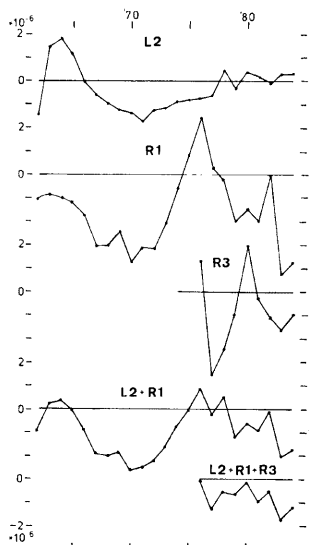


Fig. 4 (b) The curve of the yearly deviations from the linear changes of the extensions for the all periods. L2+R1 is the average for L2 and R1, and L2+R1+R3 is that of these three extensions.

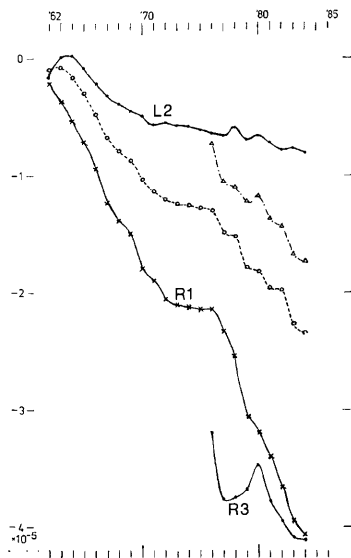


Fig. 4 (a) The curves of the early values of the extensions of L2, R1 and R3. L2+R1 and L2+R1+R3 are the average of the values of L2 and R1, and L2, R1 and R3, respectively.

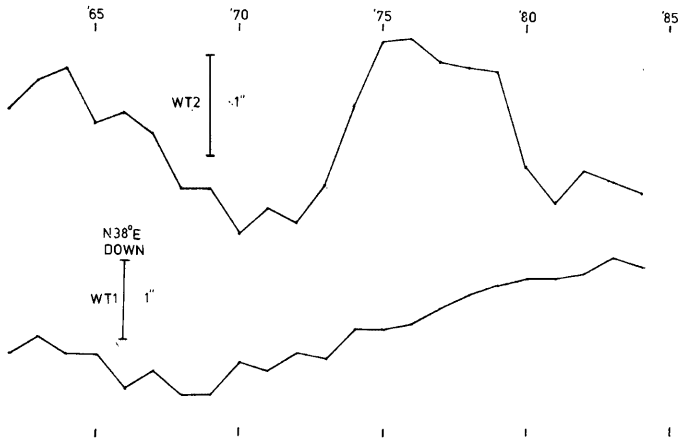


Fig. 5 The curves of the yearly values of water tube tiltmeters, WT. 1 and WT. 2

Table 2 Periodicity of Monthly Extension on L2, R1 and R3

| Component | Analysed Period | Mean range of annual variation | [1]                 |               | [1/2]              |       | Max. [ $<1/2$ ]    |           | Max. [ $>1$ ]      |         |
|-----------|-----------------|--------------------------------|---------------------|---------------|--------------------|-------|--------------------|-----------|--------------------|---------|
|           |                 |                                | Amplitude           | Phase         | Amplitude          | Phase | Amplitude          | Period    | Amplitude          | Period  |
| L2        | '61-'84         | $77 \times 10^{-8}$            | $18 \times 10^{-8}$ | $164^\circ$   | $4 \times 10^{-8}$ |       | $4 \times 10^{-8}$ | 1/2.3 yr. | $5 \times 10^{-8}$ | 2.0 yr. |
| R1        | '61-'84         | $186 \times 10^{-8}$           | 32                  | " $156^\circ$ | 19                 | "     | 12                 | " 1/5 "   | 9                  | " 1.6 " |
| R3        | '75-'84         | 390                            | 57                  | " $145^\circ$ | 24                 | "     | 46                 | " 1/5 "   | 27                 | " 5 "   |

Remark: [1]: Monthly extension whose period is one year,  
 [1/2]: Monthly extension whose period is a half year.  
 Max. [ $<1/2$ ]: Maximum monthly extension whose period is shorter than a half year.  
 Max. [ $>1$ ]: Maximum monthly extension whose period is longer than one year.

だったので、3つの成分とも縮みの変化を示し、地下水位も連日低下していた。地震のあった12月2日は3成分とも数時間似通った変化を示した。R3は基線が長いから近地震のときしばしばこのような変化を示す。また、このときは湯水期であったためであろうか数日にわたるような地震の影響と思われる変化は判別し難い。

### 2.2 長期変化

L2, R1, R3のそれぞれの毎年1月1日に相当する年平均値の経年変化をFig.3に示す。それぞれの変化の線形変化成分はそれぞれ  $-3 \times 10^{-7}/\text{year}$ ,  $-16 \times 10^{-7}/\text{year}$ ,  $-6 \times 10^{-7}/\text{year}$ であった。このような長期変動は塑性流動を多分に含んでいる。塑性流動の大小に関与する粘性率は物質により相違が大きく、その相違が3~4桁に及ぶこともある。この附近の地殻の応力は一樣であってもこの観測値の示すような相違を示すのかもしれない。

Fig.4は3つの成分の経年変化からそれぞれの線形成分を抜いた後の曲線を示す。これは各年の変化の平均経年変化からの偏差と見ることができる。これらの変化の傾向は、例えば1962~1974年の変化はL2とR1とは一致しているようである。

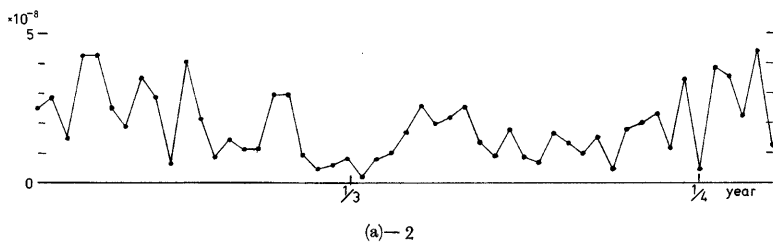
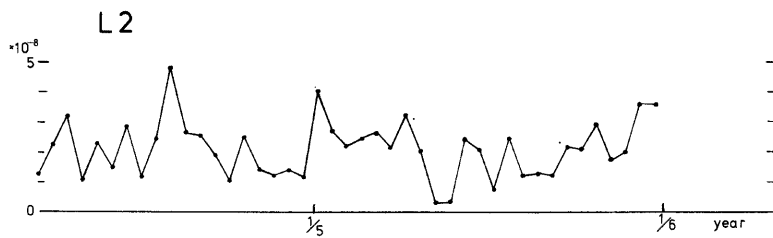
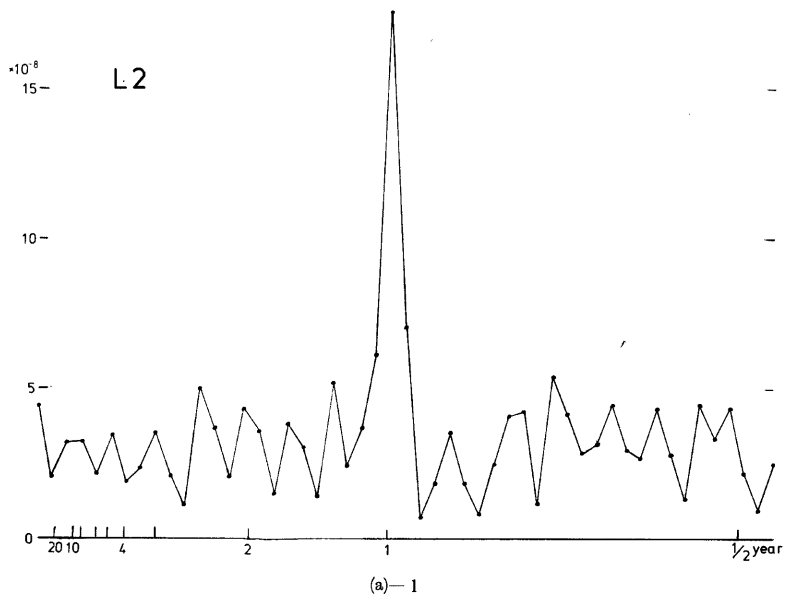


Fig. 6 (a) Power spectra of the monthly extensions of L2 vs. the frequency

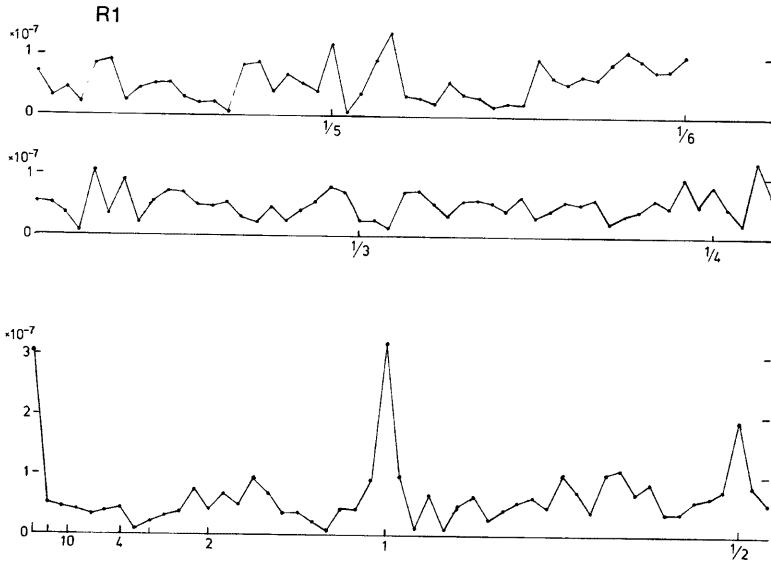


Fig. 6 (b) Powerspectra of the monthly extensions of R1 vs. the frequency

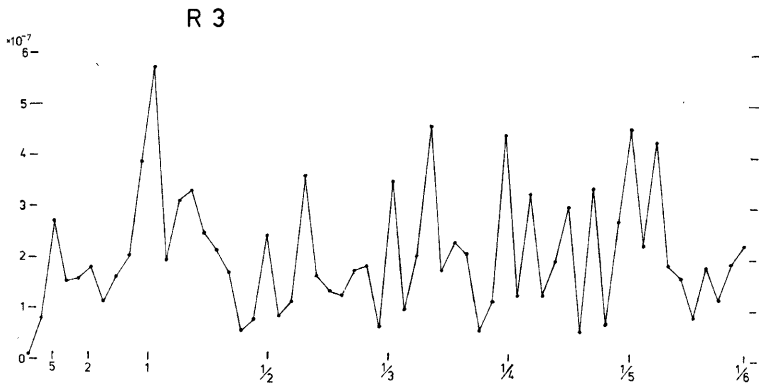


Fig. 6 (c) Power spectra of the monthly extensions of R3 vs. the frequency

Fig. 5 は水管傾斜計 WT.1 と WT.2 の経年変化を示すこれによると過去24年間の変化はいずれも2秒以内、約1秒の範囲に収まっている。WT.1 と WT.2 とを比較すると WT.2 の方が年によって波状的变化が大きい。WT.1 から1962～1984年間の変化は0.9″、N 38°E 方向の傾下が見られる。地表の等高線は S 38° W の方向に高いので造山運動であるとも見られる。

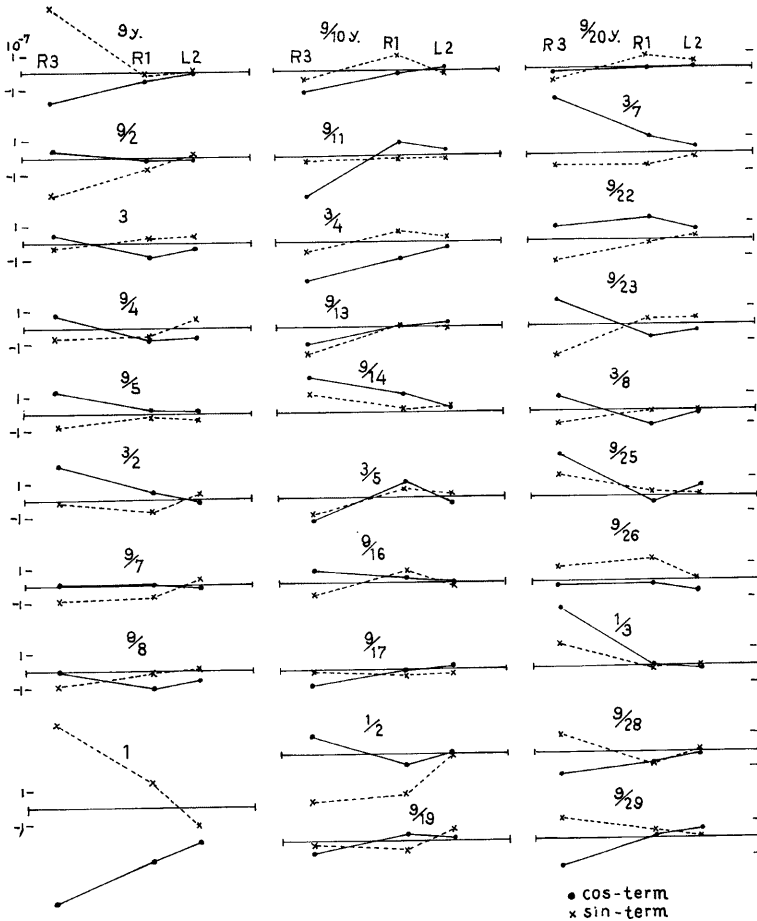


Fig. 7 Pattern of the power spectra of the monthly extensions in the tunnel vs. frequency for the period from 1976 to 1984. Full line shows cos-term of the power spectrum. Dotted line shows the sin-term of it.

### 2.3 月伸縮量と周期特性

短期の変化の項で述べたように降雨の影響は短期の著しい変化と緩慢な変化とに分けて考えられる。前者は余程の豪雨でも1カ月以内には回復し、月変動量には影響を残さず、残ったものは緩慢な容易に回復しない部分となって年周変化の項に寄与しているようである。

いま、3つの成分の全観測期間の月伸縮量を用いてその周期特性を求めた。それを **Table 2** に総括する。その結果求めた power spectrum は3成分ともに一年周期のものが一番大きく、6月にそれらの伸びの極大があった。表から分かるよう R1 の一年周期の振幅は T.2 のそれの1.8倍、R3 は L2 の3.2倍であっ



た。また、R3には一年周期の0.8倍の大きさのもの、またそれに準ずるものもあった。

3つの成分を通じて一年周期の成分が卓越しているのは降水量の1年周期が大きいことのほかに逢坂山のように降雪の少ない所であっても降水の浸透は水の粘性などのように温度の影響が非常に大きいことによるであろう。

また、1976～1984年の3つの成分の周期特性の関係を Fig. 7 に示す。周期毎のパワースペクトルの  $\cos$ -項、 $\sin$ -項のトンネル内の分布を示している。主要な変化はいずれもトンネルの入口に向かって大きくなっていることが分かる。

### 3. ま と め

長さ 670 m の旧逢坂山トンネルのできるだけ長い部分をカバーするように S 38° W 方向に伸縮計 3 台と水管傾斜計 2 台を設置して長期間観測した。その結果は

1) 短期の変化は雨のすぐ後は3つの伸縮計による観測量には一般に逆センスになるような大きな相違があった。雨後2週間以上経過した後のゆるやかな変化はいずれも伸びの一年間期の変化となっているようであった。また、各伸縮計の月変化量の周期に対するパワースペクトルは一年周期のものが最も大きくその伸びの位相はいずれも145°～164°であった。これは降水量の一年周期が大きいことの外に降水の浸透の仕方が気温などの影響を大きく受けているためと思われる。

伸縮量の主要なパワースペクトルはトンネルの入口に向かってラップ状に大きくなっていた。

2) 降雨のある頃、近地に稍顕著地震があって降雨の影響が急に大きくなったと思われることがあった(1984年6月25日)、乾燥期に地震のあった日(1984年12月2日)に3つの伸縮計に似よった変化が見られたことがあった。

3) 伸縮計の観測値の経年変化は3つの観測点とも縮みを示した。しかし、その1年当りの収縮量は場所により $-3 \sim -16 \times 10^{-7}$ の範囲に拡がっていた。地盤の構成物質は場所により弾性係数の相違がある。しかし、これよりも大きな相違があるのは粘性係数のような塑性流動に関与するものである。従ってこの地域の応力は一様に近いものであっても塑性流動のためにこのような場所による相違を示しているのかもしれない。

4) 長期の伸縮変化から線型変化を除いた偏差曲線には場所は違っても共通した変化のある時期があった。

5) 水管傾斜計の観測からは1962～1984年の間に約0.9秒の S 38° W 方向の傾上あるいは逆の方向への傾下が見られた。

6) この配列観測によって、局所的変動と広域的変動との判別の可能性の見通しが得られた。

謝辞、伸縮計 R1 と水管傾斜 WT.1 はそれぞれ故佐々憲三博士および故西村英一博士の御指導によって設置された。水管傾斜計 WT.2 は江頭庸夫氏（当時大学院生）によって設置された。観測計器の部品の多くは京都大学地球物理学教室実験工作室の藤井伸蔵技官その他の方に製作してもらった。R3 の設置には当時の大学院生白井 満氏にお手伝い頂いた。

また、日降水量の資料は京都気象台および京都市疎水事務所より頂いた。

ここに合わせて御礼申し上げます。

## 参 考 文 献

- 1) 小沢泉夫：逢坂山トンネルにおける地殻変動の観測，地震，第2輯，第27巻，1974，pp. 313-320.
- 2) Ozawa, I.: The Observations of the Earth Tidal Strains in Old Osakayama Tunnel, Bull. Disast. Prev. Res. Inst. Kyoto Univ., Vol. 34, Part 34, No. 308, 1984, pp. 169-186.
- 3) Ozawa, I. and T. Eto: On the Observations of the Long Period's Oscillations of the Earth by Means of the Extensometers and Water-tube Tiltmeter, Bull. Disast. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ. Vol. 15, Part 2, 1965, pp. 43-58.