

天ヶ瀬地殻変動観測室における伸縮歪と 雨量の関係について

古 澤 保

EFFECTS OF RAINFALLS ON GROUND-STRAINS AT THE AMAGASE OBSERVATORY

By Tamotsu FURUZAWA

Synopsis

The variations of the order of 10^{-6} associated with rainfall appear for the ground-strains derived from extensometers normal to the tunnel axis. The strain components divided into some frequency bands through band-pass filters are compared with the precipitation accumulated for some time intervals. The remarkable correspondence between them is found in each band.

1. は じ め に

伸縮計や傾斜計の連続観測によって得られるデータから地殻の異常変動、特に短期間の変動を検出するためには、記録に大きく見られる降雨、気圧、気温等の影響を考慮しなければならない。個々の降雨のパターンと傾斜、歪の短期間の変動との相関に関する研究は数多い^{(1),(2),(3)}。また笠原等は歪の長期間変動にも雨量の影響が強く現われ、広域的な地殻変動を議論する場合充分注意する必要があることを述べている⁽⁴⁾。天ヶ瀬地殻変動観測室で得られる歪及び傾斜変動に関しては、気温の季節変化に伴う周期的な年変化が非常に小さい。降雨に関しても傾斜変動及び観測坑道の延長方向の成分には顕著な影響は見られない。坑道方向に直交する歪の成分には個々の降雨に対応する短周期の変動は生じないが、多雨の夏期と渇水期の冬期を比較すると 1×10^{-6} のオーダーの歪変化が観測される。この変動の方向は垂直成分が伸び、水平成分が縮みとなり、観測坑道に直角方向の圧縮力の作用を示唆している⁽⁵⁾。

このような降雨と歪変化の周期等の関係について若干詳しく調べた結果について述べる。さらに北へ約13 km 離れた地点にある逢坂山地殻変動観測所の地下水位の変動とも比較する。

2. 観測及び解析データ

天ヶ瀬地殻変動観測室では1967年以来伸縮計、傾斜計による地殻変動連続観測を行っている。1977年4月からは公社回線を用いた有線テレメーターシステムによりデータが伝送され、約5 km 離れた防災研究所本館に於て30分間隔で15成分のデータが集録されている。これらの観測計器、観測坑道内の計器配置、観測システム等については以前報告されている^{(5),(6)}。その後1983年4月からは新たに公社のA1回線を用いて12成分の送信システムが増設され、1分1データの集録が可能となった。今回の解析にはテレメーター化された1978年以降の30分データを使用した。

記録データは欠測、人為的並びに器械的異常値、地震時のストレイン・ステップを含めたギャップ値等を半自動的に修正した後、計器感度、テレメーター系の定数の補正を行う。これらの作業は現在1ヵ月毎のデータについて実施している。次に長期変動の解析用に25時間の移動平均をとることによって主として潮汐成分より成る短周期成分を除去した後、12時間間隔のデータを作成し1978年以降連続してファイル化し

ている。

天ヶ瀬の伸縮歪に対する降雨の影響は長期の変動のみに現われ、個々の降雨に対応する1日のオーダーの短周期変動には見られないので、ここでは12時間間隔のデータファイルを解析データとした。雨量のデータは雨量計の転倒ますの作動毎に、即ち 0.5mm の降雨毎にその時の時刻を記録したものを元に、その半日毎の積算をカード化して歪データと同一のファイルに入力してある。

逢坂山の地下水位と降雨量のデータとして1978年～1983年7月までの記録の毎日0時の読取値及び日雨量を解析に使用した。

3. 伸縮歪変化

Fig. 1 は1978年から1983年までの伸縮計 8 成分の歪変動と日雨量を示す。図の上方へ向う変化が伸びを表し、左上方に示すスケールは 10^{-9} の単位で表す。即ち1目盛が 2μ strain に相当する。E-1, E-2 は坑道の延長方向の基準尺の長さが40m, 両端の基礎台を共有するスーパー・インヴァール棒及び線（佐々式）の伸縮計成分である。R1～R6 は6成分のスーパー・インヴァール棒伸縮計で R1 は長さ 5.8m の垂直成分, R-2, R-3 は坑道方向と 45° の角度で互いに直交する水平成分で基準尺の長さは 5.5m である。R-4, R-5 は 55° の傾斜角を持ち、水平方向については R-2, R-3 と同一の長さ 8.1m の斜めの成分である。R-6 は E-1, 2 と同じ方向の長さ 8.15m の水平成分である。

Fig. 2 は歪の年変化率を1ヵ月毎にプロットしたものである。上段は坑道方向の3成分 E-1, 2 と R-6 を、下段は坑道に直交する成分をもつ R-1, R-2, R-3 及びその3つの和で表わされる体積歪を示す。ここで求めた年変化率の値は1年間のデータを用いてその区間を最小二乗法で直線近似して得た1年間の歪変化であ

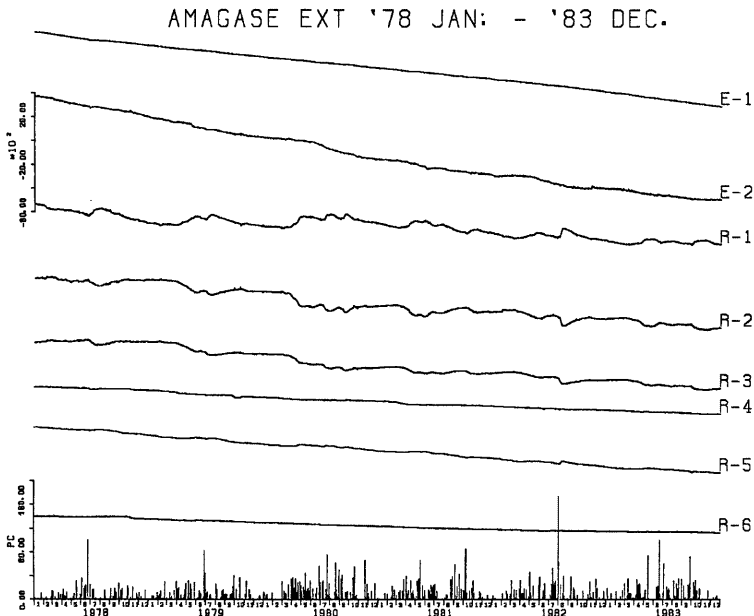


Fig. 1 Ground-strains for 8 components of super-invar-bar and -wire extensometers and daily precipitation from 1978 to 1983. Upward direction shows extension.

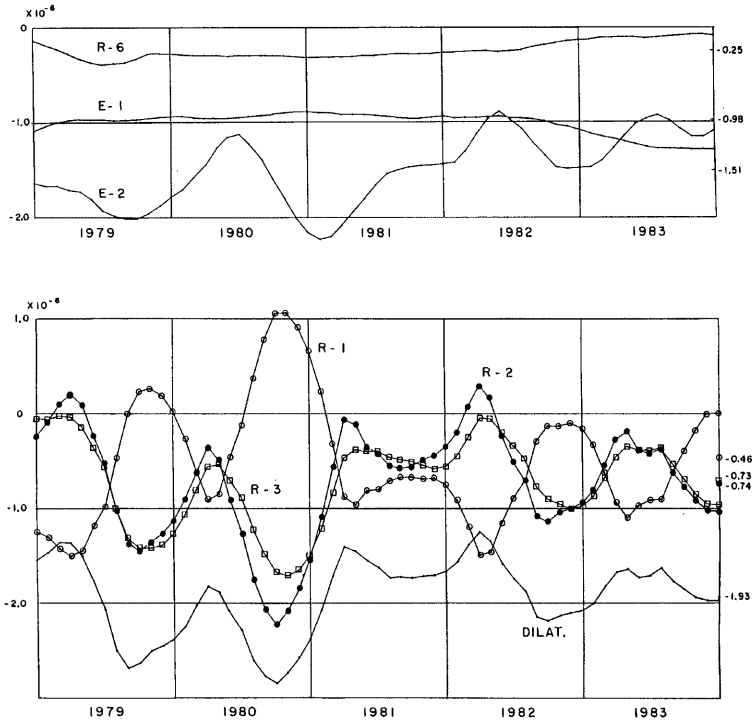


Fig. 2 Time variation of annual strain obtained by each extensometer plotted every month
upper: for components along the tunnel
lower: for components in the cross section normal to the axis of the tunnel and volume dilatation

る。Fig. 2 の1979年1月の値は1978年1月1日～1979年1月1日の1年間の歪変化量を意味する。

E-1, R-6 には短周期の変動が殆んど無く、降雨等による擾乱をうけない永年変化を示している。1982年8月までは R-6 が $0.30 \sim 0.27 \times 10^{-6}/\text{year}$, E-1 が $1.0 \sim 0.90 \times 10^{-6}/\text{year}$ の範囲のほぼ一様な縮みの変化を続けていたが、1982年8月以降 R-6 の変化率が小さく、E-1 の変化率が大きくなり逆方向の変化を示している。1983年末の変化率は R-6 が $0.1 \times 10^{-6}/\text{year}$, E-1 が $1.3 \times 10^{-6}/\text{year}$ の縮みとなっている。一方 E-2 の変化率は大きな振幅で振動しながら全体としては小さくなっている。即ち1979年には平均 $1.8 \times 10^{-6}/\text{year}$ であったものが、1981年では $1.5 \times 10^{-6}/\text{year}$, 1983年では $1.2 \times 10^{-6}/\text{year}$ とほぼ E-1 と等しいかむしろ小さくなっている。これに周期が1～2年、振幅が $1 \times 10^{-6}/\text{year}$ の大きな振動が重畳している。この振動変動は降雨との直接の相関は認められない。E-2 の記録には前線通過時のような、数十分から数時間の短時間に生ずる急激な気圧変動に対応する顕著な変動が見られるので、恐らく気圧の年変化等の長期的変動と関係すると考えられる。1982年8月以降の変化率の変動は3つの同一方向の成分で異なる傾向を示しており、計器台周辺の非常に局所的な原因の可能性が強いと考えられる。1978年から1983年までの6年間の平均歪蓄積量は R-6 が $0.25 \times 10^{-6}/\text{year}$, E-1 が $0.98 \times 10^{-6}/\text{year}$, E-2 が $1.51 \times 10^{-6}/\text{year}$ の割合の縮みである。

坑道方向に直交する成分を持つ R-1, R-2, R-3 は、6年間全体の直線近似による平均経年変化率は各々

0.46, 0.74, 0.73×10^{-6} /year の縮みであるが、それに重って短周期の大きな変動を示す。この短周期変動の方向は垂直成分 R-1 と水平成分 R-2, -3 では逆方向となっていて、毎年 3 月頃から R-1 は伸び、R-2, -3 では縮みの方向へ大きく変動し、10 月頃元へ戻る形を示す。これは Fig. 1 最下段の雨量データと比較すると、3 月から 10 月の雨が多くなる時期に相当しており、降雨の影響と考えられる。Fig. 2 の年変化率の変動曲線を見ると、この雨量による影響が一層明瞭に現れている。夏と冬の雨季と乾季を反映してほぼ 1 年周期の変動が最も大きい、より長い周期も存在するようである。変動の振幅は年によって大きく異なり、変動範囲は最大 $2 \mu\text{strain}$ に及ぶ。R-1, R-2, R-3 の間で変動の向きは異なるが、その絶対値はほぼ同じ値を示す。したがって 3 成分の和で表わされる体積歪の変動は R-2 または R-3 と殆んど同一になっている。また斜めの成分 R-4, R-5 は垂直成分と水平成分の伸びと縮みが打消し合うように作用するため降雨の影響は小さくなっている。

4. 降雨量と伸縮歪

地震予知のための地殻変動連続観測の目的の 1 つとして、長期変動の中で歪蓄積の状態がどのように変化するかを見出し、異常の発見を行うことがある。このためには Fig. 1 のような何年間かの長期間のデータを得た後で異常な変化の区間を判定していたのでは意味が無いので、逐次得られるデータよりできるだけ短期間に正常—異常の判定を行う必要がある。この場合 Fig. 2 に示したような降雨の影響が大きいとその判定が著しく困難になる。

また Fig. 2 では 1 年間の歪変化率の変動を求めたが、この期間をどのように定めるかは歪変化の性質、周期性等に依存する。このような観点から主として坑道に直交する成分の雨量と伸縮歪の関係、特にその周期

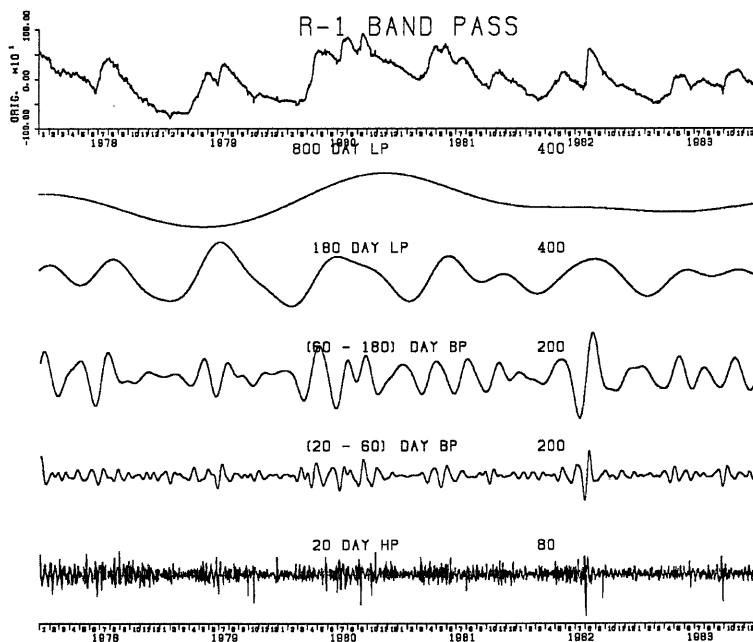


Fig. 3 Band-passed components of R-1

性について吟味した。

先ず最初に Fig. 1 に示される歪の変化から最小二乗法で直線近似して求めた永年変化分を除去する。Fig. 3 の最上段にこのようにして求めた R-1 の残差を示す。R-2, R-3 に関しても符号が異なる全く同様の变化を示すので以下に於て R-1 の みにについて記述する。Fig. 3 の最上段の図を見ると前節で述べた雨期と乾期の変動分に相当する 1 年周期の変動以外により長周期の変動も、より短周期の変動も含まれている。このためバンド・パスフィルターを用いて各種の周期成分に分離した。図の各帯域成分は上から 800 日ローパス、次は 180 日ローパス成分から 800 日ローパス成分を差引くという方法で次々求めたものである。振幅は各トレース毎に規準化してあり、図右方に示す数字が最上段左側の座標の 1 目盛の大きさを表す。Fig. 3 より非常に長周期の変動が大きな振幅を有し、短周期になる程小さくなっていることが明瞭である。長周期成分は 1980 年に特に顕著である。これらの変動を降雨の影響とした場合に日雨量データと関係づけるため、各周波数帯域に対応すると考えられる期間をとり、その期間の積算雨量の時間的推移を調べて見た。Fig. 4 はこのような積算雨量を求めて、平滑化するためのローパス・フィルターをかけたものである。400 日雨量を見ると、1980 年の雨量が他の年に比べ非常に多かったことがわかる。図は例えば 1981 年 1 月 1 日の点はそれより以前の 400 日間の積算雨量を示す。この年間雨量の変化が Fig. 3 の R-1 に現われる歪の長期間成分の変化とよく対応しており、降雨の影響がこのように長期の歪変動にも及ばされることを示す。以下順次半年～1 年の周期の歪変動と 90 日積算雨量、(60～180) 日の歪変動と 30 日積算雨量というように非常に良い相関関係が存在する。したがって Fig. 3 の平均永年変化を除去した後に見られる歪変動は殆んど全て降雨によってもたらされた変動と考えられる。

積算雨量がどのようにして歪変動と結びつくかは天ヶ瀬のデータでは判定できない。逢坂山地殻変動観測所では坑内の地下水位の変化と伸縮変化の間には非常に良い相関が存在することが報告されている⁷⁾。逢坂山は天ヶ瀬の北方約 13 km の地点に位置しており、個々の降雨量の相異はあっても、長期間の降水パターンはほぼ同一と考えられる。実際に逢坂山の雨量データと Fig. 4 を比較すると殆んど同じになる。したがっ

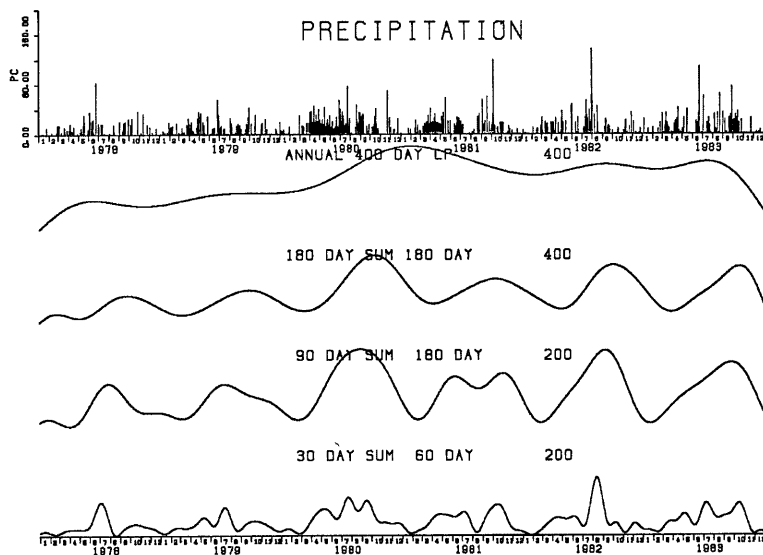


Fig. 4 Low passed cumulative precipitation for some time intervals

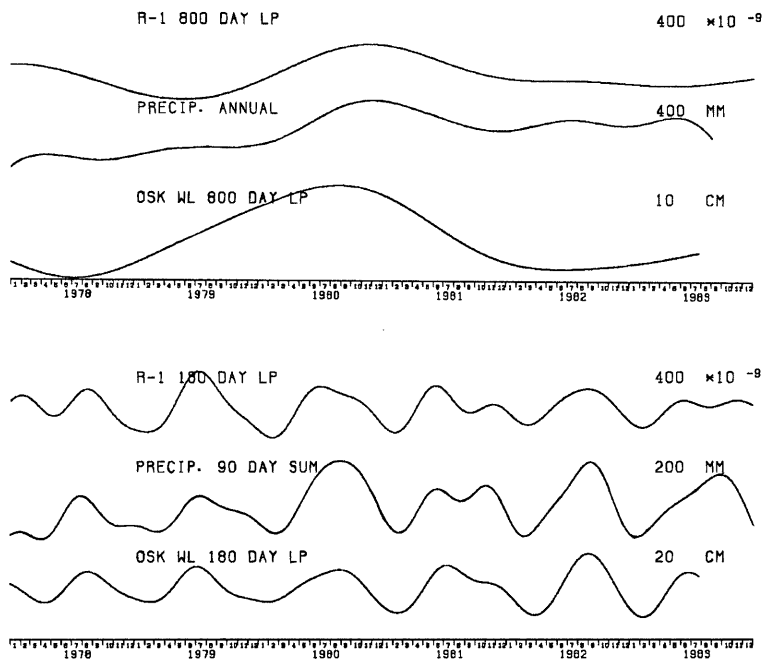


Fig. 5 Comparison of R-1 and cumulative precipitation with underground-water-level at the Osakayama Observatory

てここでは逢坂山の坑内地下水位のデータと天ヶ瀬の歪変動を比較する。Fig. 5 は R-1 の歪変動と地下水位については 800 日より長周期の成分と (180~800) 日の成分、それに対応する雨量として年雨量と 90 日雨量を比較したものである。長周期成分については若干位相のずれが存在するが、3 つの量の間に非常に良い相関がみられる。半年~1 年の周期の変動では殆んど完全に一致している。以上の結果から降水は地下水位の変動という形で積算され、その地下水位によってもたらされる圧力の変動がかなり長期にわたる歪の変化を生ずると考えることができる。

5. ま と め

天ヶ瀬観測室で得られる坑道に直交する方向の伸縮歪の平均永年変化を除いた残りの変動は、短周期から長周期まで降雨による地下水位の変動と関係づけられ、しかもその変動が 10 数 km の範囲で同じになることがわかった。

今後さらに量的な関係を吟味することによって、周波数帯域毎に降雨の影響を除去することができると考えられる。

おわりにご指導いただいた高田理夫教授並びに観測及び記録の整理に御協力いただいた山田勝枝官に深く感謝しお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 田中寅夫・細 善信・加藤正明：和歌山県由良における傾斜、ひずみと降雨について，測地学会誌，第25巻，第4号，1979，pp. 302-312.
- 2) 田中寅夫：傾斜計・伸縮計記録に現われる降雨の影響とそのシミュレーション，測地学会誌，第25巻，第2号，1979，pp. 91-100.
- 3) 高田理夫・古澤 保・竹本修三・山田 勝：降雨及び湧水量変化の地殻ひずみの観測に及ぼす影響について一岩倉観測室の場合一，京大防災研年報，第24号 B-1，1981，pp. 71-76.
- 4) Kasahara, M., R. Shichi and Y. Okada: On the Cause of the Long Period Crustal Movement, 測地学会誌，第27巻，第4号，1981，pp. 301-305.
- 5) Takada, M., T. Furuzawa and S. Takemoto: Crustal Movement Observed at the Amagase Observatory, Bull. Disast. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Vol. 33, Part 2, 1983, pp. 47-61.
- 6) 高田理夫・古澤 保・竹本修三・山田 勝：天ヶ瀬地殻変動観測所における地殻変動観測（第3報），京大防災研究所年報，第21号 B-1，1978，pp. 87-95.
- 7) 橋田匡邦・重富國宏：材質の異なる基準尺を用いた伸縮計の比較観測，測地学会第59回講演会要旨，1983，pp. 84-85.