

天ヶ瀬地殻変動観測所における地殻変動観測

(第 4 報)

高田理夫・古沢 保・竹本修三・山田 勝

ON THE OBSERVATION OF THE CRUSTAL DEFORMATION AT AMAGASE OBSERVATORY (4)

By *Michio TAKADA, Tamotsu FURUZAWA, Shuzo TAKEMOTO*
and *Masaru YAMADA*

Synopsis

The results of observations of ground-strain and -tilt since 1967, carried out by the super-invar-bar extensometers, the super-invar-wire extensometer and the tiltmeters of horizontal pendulum type, are reported. The linear trend of secular variations for the period from 1970 to 1975 has changed slightly after 1976. The mean rate of secular ground-strains and -tilts are the order of 10^{-6} /year and $1''$ /year, respectively. The yearly values of strains and tilts in 1979 are fairly smaller than mean values of all periods since 1968.

1. は じ め に

天ヶ瀬地殻変動観測室は宇治市槇島槇尾山 ($135^{\circ} 50' E$, $34^{\circ} 53' N$) の関西電力株式会社の旧志津川発電所の導水隧道を改修したもので、1967年6月より観測を開始した。観測室の詳細及び設置されている観測計器や光波測量の基点等については既に報告されている。^{1), 2), 3)}

今回は観測開始以来連続して記録されている伸縮計と水平振子型傾斜計の観測結果と、1977年に導入された公社回線利用の有線テレメーターシステム³⁾によって得られるデジタルデータの処理方法及びその結果得られる1979年のデータの中の短期間の変動について述べる。

2. 伸縮及び傾斜変化

1967年6月以降の伸縮計及び水平振子型傾斜計の記録の毎月1日0時の読取値と10日間の雨量をプロットした図を Fig. 1 に示す。

1969年から1975年までの7年間は各成分共非常に安定した一様な勾配の変動をしており、1976年以降には相異が見られるということが前回の報告で述べられたが³⁾、その傾向はその後も続いている。即ち1976年を境にして変動方向が変化し、その前後の期間は各々一様な変動を示している。これは傾斜変動により明瞭に現われている。長期間の経年変化を見るため Fig. 1 の各成分の変動より13ヶ月の移動平均による平滑化を行って、雨その他の影響による短期間の変動を除去した。それらの結果を Fig. 2(a), (b) に示す。

Fig. 2(a) は伸縮計の変動を表し、E-1 は隧道方向の長さ 40 m のローラー型スーパーインヴァール棒伸縮計、E-2 は同じ方向の佐々式スーパーインヴァール線伸縮計、R-1~6 は6成分のローラー型スーパーインヴァール棒伸縮計を示し、1は垂直、2、3は隧道と 45° 方向の水平成分、4、5は同じく斜めの成分、6は隧道方向の水平成分である。隧道と 45° 方向の R-2、3 が1976年以降縮みから伸びに転じている外は全体に縮みの変化を示している。隧道方向の E-1、R-6、斜め方向の R-4、5 には1976年の前後で顕著な変化は

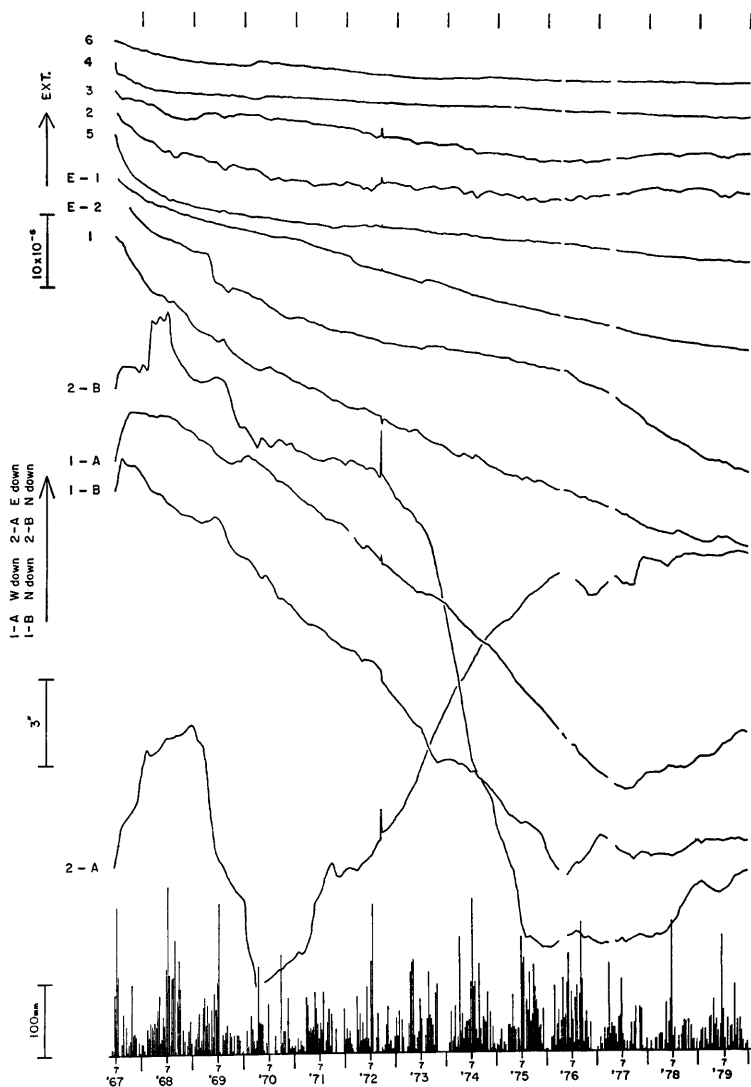


Fig. 1. Variations of ground-strains and ground-tilts and the precipitation, observed at Amagase.

見られない。同じ隧道方向の E-2 は1975年以前より縮みの歪量が大きくなっているが、佐々式は計器の構造上経年変化に対する信頼性が小さいと考えられるので、量的な変化はあまり有意とは言えない。したがって、1976年以降の歪変動の傾向の変化は隧道に直交する方向に生じたと考えられる。またもう1つの特長と

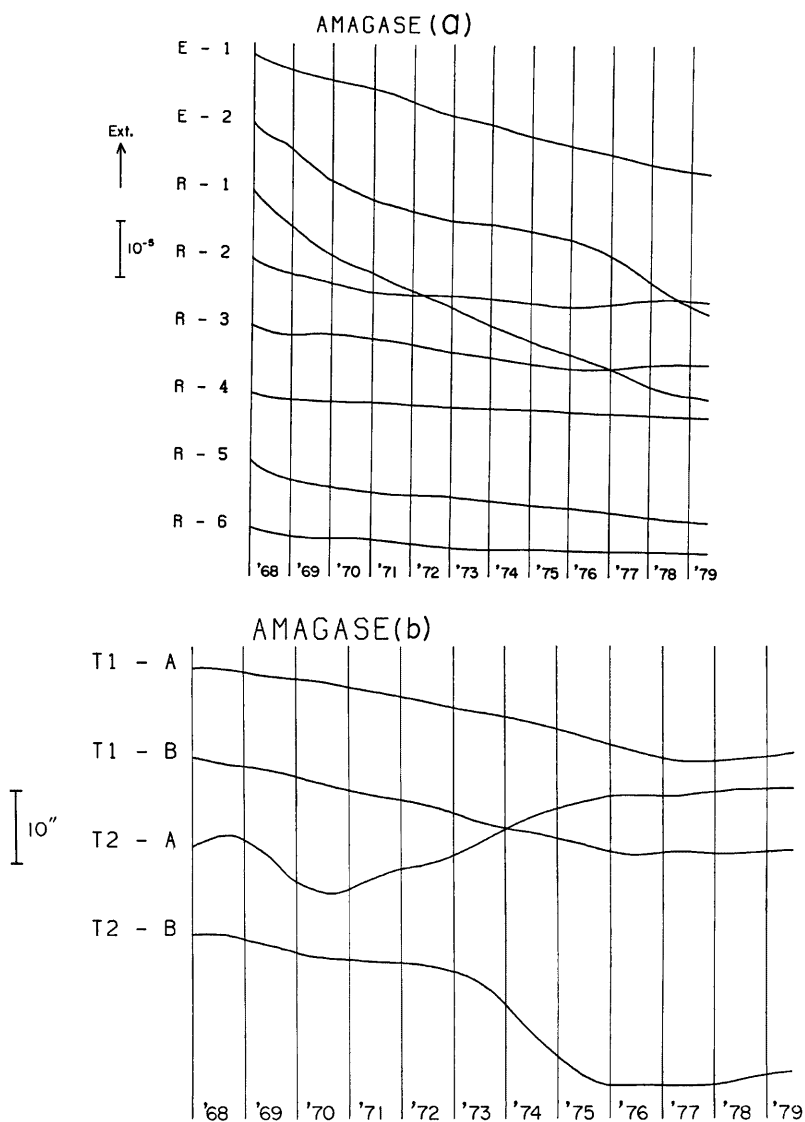


Fig. 2. Averaged secular variations of ground-strain and -tilt, eliminated annual variations.
(a) strains and (b) tilts.

して、最近2年間の歪変動量が各成分共非常に小さくなっているのがわかる。

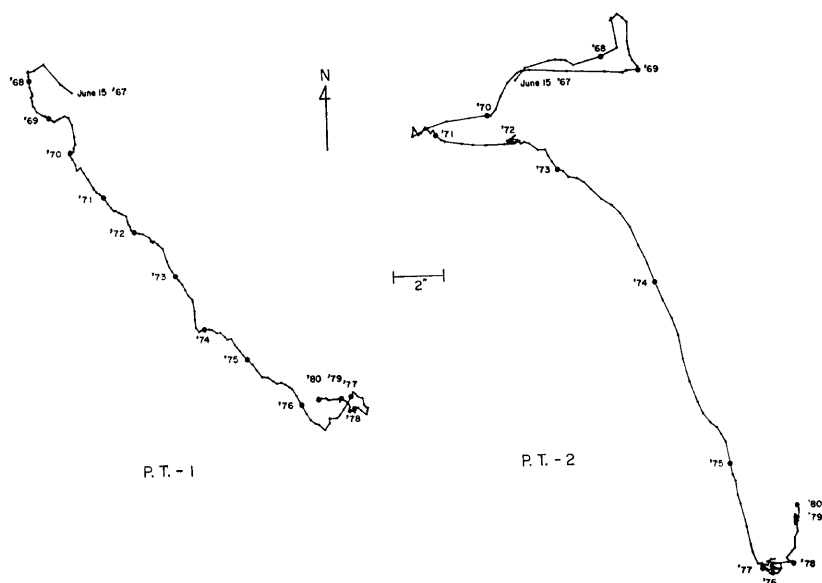


Fig. 3. Vector diagrams of ground-tilts.

Fig. 2(b) は 45 m 離れた地点に設置された 2 組の水平振子型傾斜計 T 1, T 2 の平滑された変動を示す。図に於て A は東西方向, B は南北方向の成分を表すが, T 1-A は上が西下り, T 2-A は上が東下りと逆方向になっている。T 1-B, T 2-B はいずれも上が北下りの変動を示す。T 2 はやや不安定な動きを示しているが, 1970—1975 年の間は T 1, T 2 共ほぼ一様な南東下りの傾斜を示している。1976 年以降は各成分共変動量が非常に小さくなって, 傾斜方向が時によって変化し, T-1 と T-2 では合致しなくなっている。これは Fig. 3 のベクトル図を見ると一層明らかである。特に最近 2 年間は T-1 が西下り, T-2 が北下りの傾斜を示し始めている。

3. 地殻変動記録のデータ処理

1977 年 4 月に導入された地殻変動テレメーターシステムでは当初水管傾斜計 1 成分の両端の 2 台のセンサー (WT-1, 2), 水平振子型傾斜計 2 成分 (PT-1 A, PT-1 B), 佐々式スーパーインヴェール線伸縮計 (E-2) の 5 成分の記録のみ搬送されていたが, 1978 年 11 月よりローラー型スーパーインヴェール棒伸縮計 7 成分 (E-1, R-1~6) も搬送されるようになった。得られるデータは光电変換装置によるデジタル記録で, 各成分 1 時間に 1 回のサンプリングで CPU に格納され, 毎日 0 時に紙テープ (PT) とタイプライター (TW) に出力される。

得られた PT 記録はデータ処理に便利ようにオフラインで磁気テープ (MT) とディスクパック (DP) に移され, 編集される。MT 記録は 1 日 1 ファイルの単リール多ファイル形式でデータの保存に用いられ DP には 1 年分のデータをファイル化して, 種々の修正を行った上解析に使用するデータとする。データ処理の第一段階としては欠測, 異常値, 零線のギャップの補正等の修正を行う。短時間の欠測, 異常値は, そ

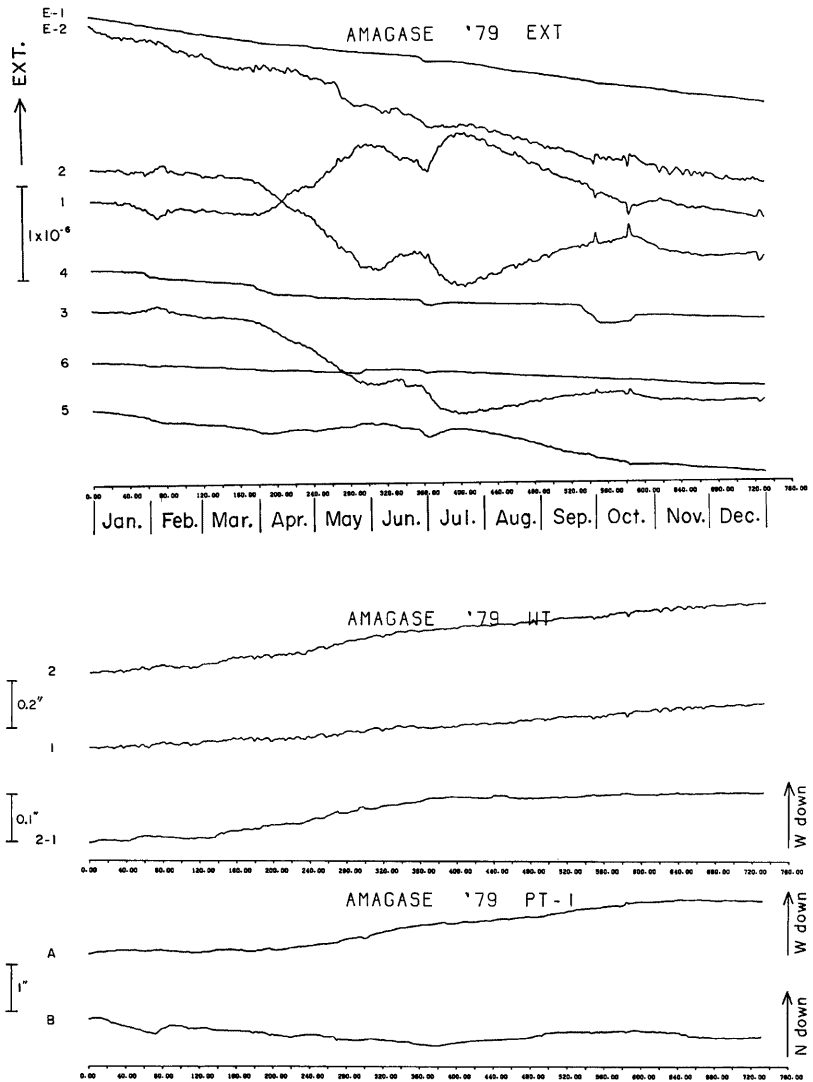


Fig. 4. Yearly variations of ground-strain (EXT) and ground-tilts observed with water-tube type (WT) and horizontal pendulum type (PT-1) tiltmeters, in 1979.

れ以前のデータの値との差を各成分毎に定めた変動の範囲と比較することによって検出し、異常区間の前後のデータより内挿して修正する。長時間の欠測は欠測区間の2倍の長さのデータをその前後にとり、その区

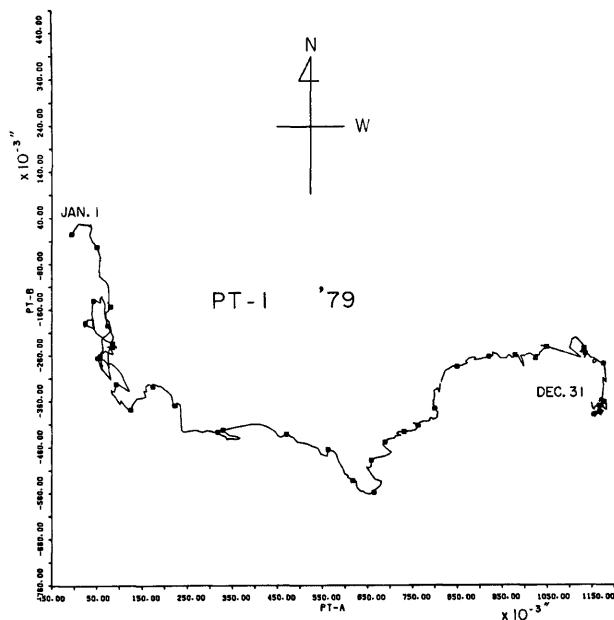


Fig. 5. Vector diagram of ground-tilt in 1979.

間の最小二乗近似直線によりデータを挿入する。ギャップの補正は前後の各72時間の区間の最小二乗近似直線を比較して補正値を定めつなぎ合わせる。このようにして修正したデータに計器の感度補正を行った上で DP に戻し解析用のデータファイルとする。修正したデータの区間と修正前後の数値はプリンターに出力する。

第2段階として24時間より短周期の成分と長周期の成分を分けるため、25時間の移動平均をとって平滑化した値とその残差を求める。そして生のデータ、長周期成分、短周期成分の変動を XY-プロッターに出力する。傾斜に関してはベクトル図も描かせる。また6成分の伸縮変化より主歪の方向と大きさを求める。このような処理を毎月に行い、毎月の変動量を求めて異常変動の検出を行っている。

このような処理方法で得られた1979年のデータを Fig. 4, 5 に示す。Fig. 4 は25時間の移動平均による平滑データを12時間間隔でとり出しプロットしたものである。隧道方向の伸縮計 E-1, E-2, 6 は歪量は成分により異なるが、一様な勾配の縮みを示す。6成分伸縮計の垂直方向と隧道に45°方向の水平成分は Fig. 2 で述べた長期間の永年変化に比べ複雑な動きを示している。7月に見られる変動は6月末から7月初めの1日80 mm に達する大雨を含む一連の降雨の影響と考えられ、垂直方向に伸び、水平方向に縮み、これら3成分の和より求まる体積歪では縮みとなる。6成分の歪変化より求めた歪の主軸は、縮みの軸が隧道に直交する水平方向に、伸びの軸が垂直方向に、中間軸は隧道方向になり、中間主軸の大きさは殆ど0である。この変動の前にある4月に始まり5月末にピークを持つ変動は、ピークまでの立上りが緩やかである点を除き、変動の性質、主歪の方向等7月の雨による変動と同じであるが、この期間に30 mm を越える降雨はなく、総雨量も他の期間に比べ顕著な量ではない。さらにこの時期に水管、水平振子の両方の傾斜計に西下り

Table 1. Averaged annual rate from 1968 to 1979 and yearly values in 1979 of strains and tilts at Amagase.

	1967—1979	1979
STRAINS	$\times 10^{-6}/\text{year}$	$\times 10^{-6}$
E - 1	-1.765 ± 0.014	-0.943 ± 0.009
E - 2	-2.451 ± 0.048	-1.792 ± 0.042
R - 1	-2.998 ± 0.041	0.015 ± 0.189
R - 2	-0.547 ± 0.032	-1.125 ± 0.178
R - 3	-0.639 ± 0.021	-1.271 ± 0.129
R - 4	-0.318 ± 0.007	-0.588 ± 0.031
R - 5	-0.793 ± 0.022	-0.678 ± 0.045
R - 6	-0.326 ± 0.012	-0.285 ± 0.010
VOLUME	-4.184 ± 0.032	-2.381 ± 0.120
TILTS	$"/\text{year}$	"
PT1- A	-1.150 ± 0.022	1.450 ± 0.058
PT1- B	-1.200 ± 0.028	-0.166 ± 0.074
PT2- A	-1.033 ± 0.062	
PT2- B	-2.005 ± 0.064	
WT		0.154 ± 0.011

の変動が大きく出ている。7月の雨の影響は傾斜変動には顕著でない。12月末にも短期間で小さいが、同様の伸縮変化が見られるが、この時期には降雨は全く無かった。これらの変動の原因は今の所該当するものが見当たらない。10月の2つのパルス状の変動は台風による急激な気圧変動に対応している。この場合垂直方向に縮み、水平方向に伸びとなり、体積歪も伸びを示す。しかし歪の主軸は雨の場合のように隧道方向との一致は見られず2つの台風に於ても異なる。

水管傾斜計 WT-1, 2 は隧道方向 (N 72.5° W) に設置された 85 m の水管の両端の記録であり、2-1 は両者の差を表す。1, 2 に見られる同方向のドリフトは蒸発等による水面の低下によるもので、短周期成分は主として気圧変動によるものである。したがって両者に共通の成分であり、差をとると消去される。傾斜変動は全体として西下りであるが、3月から6月の4ヶ月間に約 0.1" の変動を示す以外は非常に小さく 0.004"/月以下の割合である。一方水平振子型傾斜計 PT-1 では WT とほぼ同方向の E-W 成分 A が WT と同様年間を通じて西下りの変動を示し、中間部の4~10月の期間が大きく、1~3月及び11~12月の変動は小さい。しかし量的には WT に比し 1 オーダー大きい。N-S 成分の B は 7 月に方向が逆転するなど A に比

やや複雑な動きを示している。傾斜変動の変化は Fig. 5 のベクトル図に一層はっきりと示されている。

4. ま と め

天ヶ瀬に於ける12年間の年平均の変動量として Fig. 2 の各成分の最小二乗近似直線の勾配を求め、その値を Table 1 に示した。体積歪は直交 3 成分の和として求めた。1976年以降の変動の傾向の変化を考慮すると全期間の直線近似で経年変化を議論するのは地震予知の目的には適さないと考えられるが、長期間の地殻変動の推移を見る第一近似としては十分であろう。Table 1 の右欄に比較のために Fig. 4 の各成分の最小二乗近似直線より求めた1979年の変動量を示した。雨その他の影響による変動が大きい隧道に直交する方向の成分は年間変動量としてこの値が有意とは考えられないが、体積歪及び隧道方向の成分については最近の変動が非常に小さく、傾斜変動では方向が逆転していることが明瞭である。水平振子型傾斜計と水管傾斜計では変動の傾向は同じであるが量的には1オーダー異なる。

1979年を例として見た短期間の変動は降雨、気圧変動の影響によるかなり複雑な動きを示す。これらの変動は特に隧道に直交する方向に顕著に現われる。これは弾性体の中に穴がある場合穴の直径方向に歪が増幅される⁴⁾ということによって説明されると思われる。この問題に関しては著者の1人により別に報告されている⁵⁾。

また顕著な降雨が無い場合に降雨の影響による変動と同様の変動を示す場合がある。この原因は今の所不明であり今後検討する必要がある。

おわりに観測全般にわたり御協力下さった広野秋男氏に深く感謝し御礼申し上げます。資料解析は防災研究所資料センターの FACOM M-140 によることを付記する。

参 考 文 献

- 1) 高田理夫, 尾上謙介, 小林年夫, 山田 勝: 天ヶ瀬地殻変動観測所における地殻変動観測 (序報), 京都大学防災研究所年報, 第11号 A, 1968, pp. 213-220.
- 2) 高田理夫, 古沢 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2報), 京都大学防災研究所年報, 第17号 B, 1974, pp. 47-56.
- 3) 高田理夫, 古沢 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), 京都大学防災研究所年報, 第21号 B-1, 1978, pp. 87-95.
- 4) Itsuei, U.J., R.G. Bilham, N.R. Goult and G.C.P. King: Tidal Strain Enhancement Observed Across a Tunnel, Geophys. J.R. astr. Soc., Vol. 42, 1975, pp. 555-564.
- 5) 竹本修三: 潮汐ひずみの観測に及ぼす Cavity Effect について, 測地学会誌, 第26巻, 第2号, 1980, pp. 122-132.