

屯鶴峯地殻変動観測所における地殻変動観測 —1980～1989—

尾上 謙介・藤田 安良・古澤 保

OBSERVATIONS OF THE CRUSTAL MOVEMENT AT THE DONZURUBO CRUSTAL MOVEMENT OBSERVATORY —1980～1989—

By *Kensuke ONOUE, Yasuyosi FUJITA, and Tamotsu FURUZAWA*

Synopsis

At the Donzurubo Crustal Movement Observatory, continuous observations of ground strains and tilts were interrupted by civil engineering work in vault. After civil engineering work, anomalous variations of ground strains and tilts appeared for about three years.

It appears that trend of secular variations of strains changed in 1985 to 1986. Variations of extension were showed in all direction till 1985-1986. Its variations of extensions disappeared after that and variations of contractions appeared in east-west direction. This is consistent with the result of electro-optical distance measurements.

1. は じ め に

屯鶴峯地殻変動観測所 ($\lambda=135^{\circ}40' E$, $\psi=34^{\circ}32' N$) は、近畿中央部における地震発生と地殻変動との関係を明らかにすることを目的として、1965年に開設され、伸縮計や傾斜計による地殻変動の連続観測が開始された。その後、1967年に地震予知研究計画に基づき、防災研究所の附属施設になり、観測の充実が計られた。以来地殻変動の連続観測が続けられてきたが、1978年に観測坑道の補強工事が行なわれて、約一年間の観測中断があり、1979年8月から観測が再開され現在に至っている。観測坑道の補強工事以前の観測結果は既に報告されているので¹⁾、それ以後の1980年から1989年までの10年間の観測結果の、主として経年変化と観測所付近で行われている光波測量結果について報告する。

2. 地殻変動の連続観測の結果

観測坑道と坑内の観測計器の配置を Fig. 1 に示す。主坑道の方位はほぼ東西、南北方向にある。伸縮計は 各基準尺の長さが 18.3 m の水晶管伸縮計 3 成分 (SE-1, 2, 3), スーパーインバール棒の 6 成分伸縮計 (I ~ VI), スーパーインバール線伸縮計 (S-1, E-1) とスーパーインバール棒伸縮計 (E-2) で構成されている。傾斜観測は、10台 5 組の水平振子型傾斜計 (HP-1, 3, 4, 5, G) と 2 成分の水管傾斜計 (WT) で行わ

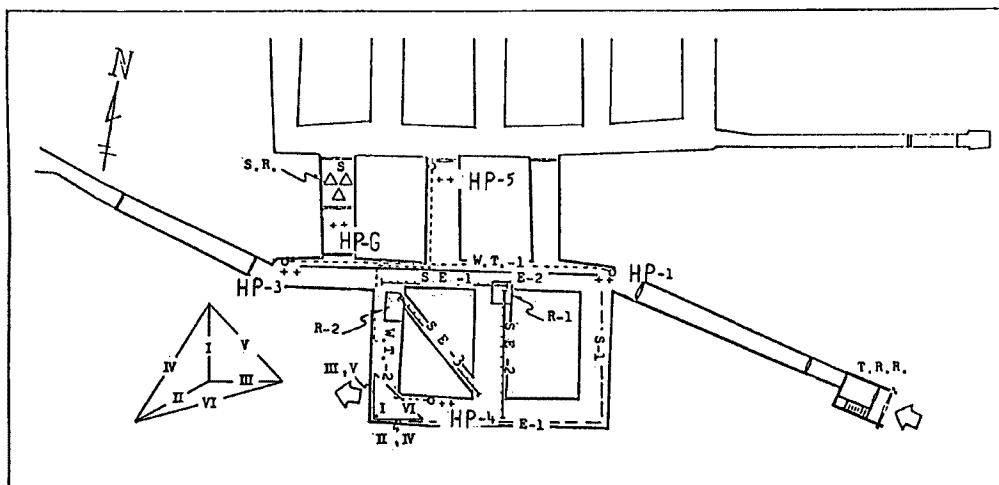


Fig. 1. Arrangement of instruments in the observation vault.

れている。観測の記録方式は光学記録方式、光電変換装置によるデジタル記録方式²⁾及び差動トランスの換振器による記録方式である。今回、伸縮変化や傾斜変化の考察には水晶管伸縮計3成分、6成分伸縮計、3組の水平振子型傾斜計、そして水管傾斜計の記録を使用した。解析には毎日午前0時の印画紙読み取り値をプロットしたものと、年周変化や気圧、降雨等による短期間の変化を消去して、経年変化を見るために365日の移動平均操作を行ったものを利用した。水管傾斜計は直接読み取り値を利用した。

2.1 伸縮変化

Fig. 2 に水晶管伸縮計3成分の観測結果と降雨量を示す。SE-1, SE-2 はそれぞれほぼ東西、南北方向、SE-3 は N 40.5° W 方向に設置されている。**Fig. 2** に見られる短周期の変動は気圧、降雨等の影響によるものである。当観測所における降雨の影響は比較的小さく、むしろ気圧変動による影響が大きい³⁾。経年変化を見るために、365日の移動平均の操作を行った結果を **Fig. 3** に示す。SE-1 は観測の再開以後 0.2×10^{-6} /年の縮みの変動を示していたが、1982年末から伸びに転じ、 0.4×10^{-6} /年の割合で1984年末まで変動し、それ以後 0.6×10^{-7} /年と割合は小さくなるが伸びの変動が続くが、1985年から 0.2×10^{-6} /年の縮みに転じる。そして1988年中頃から変動は小さくなる。SE-2 は補強工事後 0.6×10^{-6} /年の大きな伸びの変動を示す。この変動の傾向は工事以前の1975年から続いている。しかし1984年9月頃から変動の割合は 0.4×10^{-6} /年と小さくなり、1986年になると一転して 0.2×10^{-6} /年の縮みに転じ、一年間を経て再び同じ変動率の伸びになり、1989年からは再度縮みに変化して現在に至っている。SE-3 は1982年の約一年間変動が小さくなるが1984年末まで 0.4×10^{-6} /年の伸びの変動を示す。1985年からは SE-1 と同様に 0.2×10^{-6} /年の縮みに転じ、1987年からはわずかに伸びの変化も見られるが、1988年中頃からは再び 0.5×10^{-6} /年の大きな縮みに変化する。1978年から行われた坑道の補強工事は、坑内の落石を防止するためのもので、脆くなっている壁面を削り、コンクリートの吹き付け工法による。工事がこのようにおおがかりであるため、観測再開後3成分に見られる1982年頃までの変動は工事の影響によるものと推測される。その後の変動の特長としては、3成分ともほぼ同時期、1985～1986年に変動傾向の変化が見られることである。SE-1 は1985年以降はそれまでの伸びから縮みに、SE-2 は一様な大きな伸びが1986年からは周期的な変動に、SE-3 は1985年以降それまでの伸びから緊みへと変化している。これは1985～6年頃までは全体に伸びを示しており、特に南北方向の伸びが顕著であり、それ以降は全体に伸びの変動はなくなり、東西方向には縮みの変動が現れたと考えられる。

Fig. 4 に基準尺にスーパーインパール棒を用いた6成分の伸縮計の観測結果と降雨量を示す。365日の移

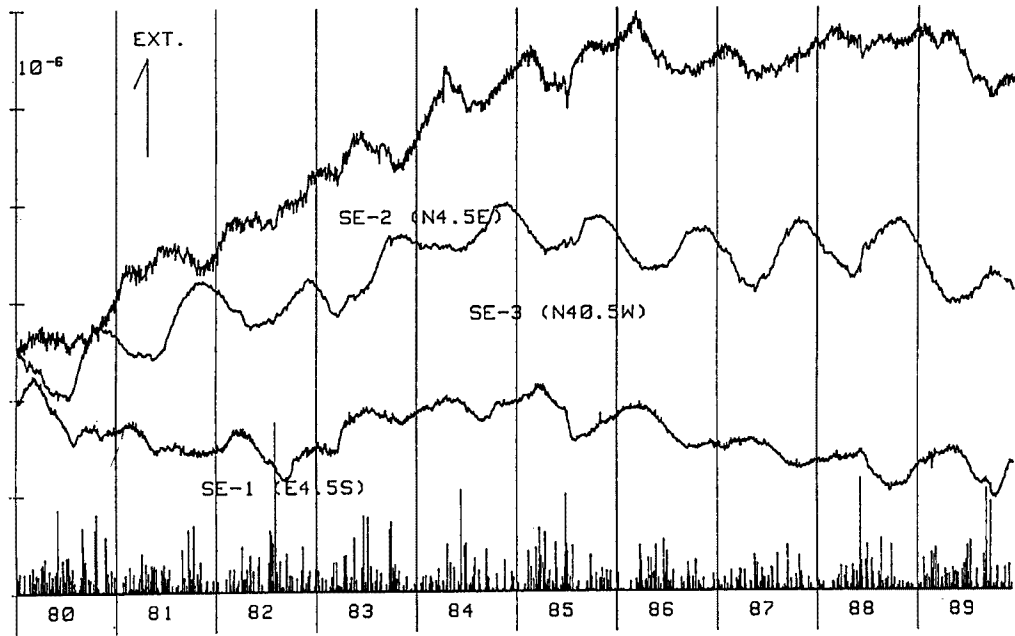


Fig. 2. Variations of ground strains and precipitation.

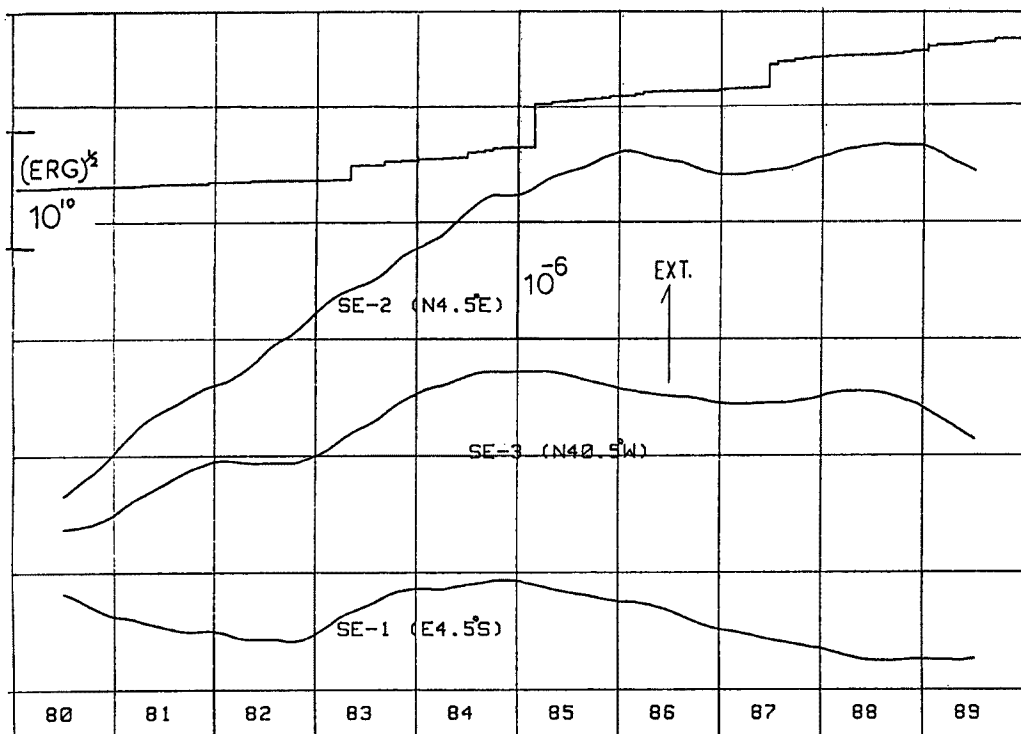


Fig. 3. Secular variations of ground strains and cumulative seismic energy ($\sqrt{E}$) released by earthquakes occurred in the region within 50 km from Donzurubo observatory.

動平均の操作結果を **Fig. 5** に示す。観測再開から垂直成分の I は 1.8×10^{-5} /年, 斜めの成分の IV は 1.3×10^{-5} /年, V は 1.0×10^{-5} /年の一様に大きな伸びの変動を示す。これらの伸びの変動は1985年頃まで続き, その後は徐々に小さくなり, I は1988年, V は1986年, IV は1989年から縮みに変化している。工事以前は, これらの垂直方向の成分は縮みの変動を示していた。水平成分を見ると, II は1983年1月頃まで 0.6×10^{-6} /年, III は1982年10月頃まで 0.9×10^{-6} /年, VI は1983年1月ごろまで 1.4×10^{-6} /年の割合で縮みの変動を示す。垂直成分のスパンがこれまで 2.67 m であったものを, 工事の際に坑道の上方向に向かって掘削し, 4.7 m の伸縮

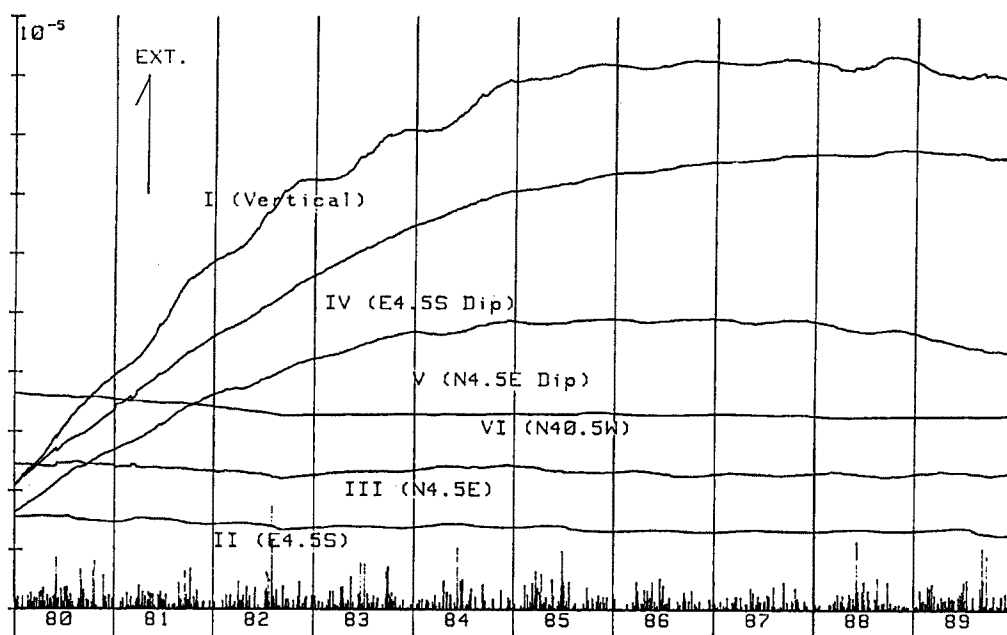


Fig. 4. Variations of ground strains and precipitation.

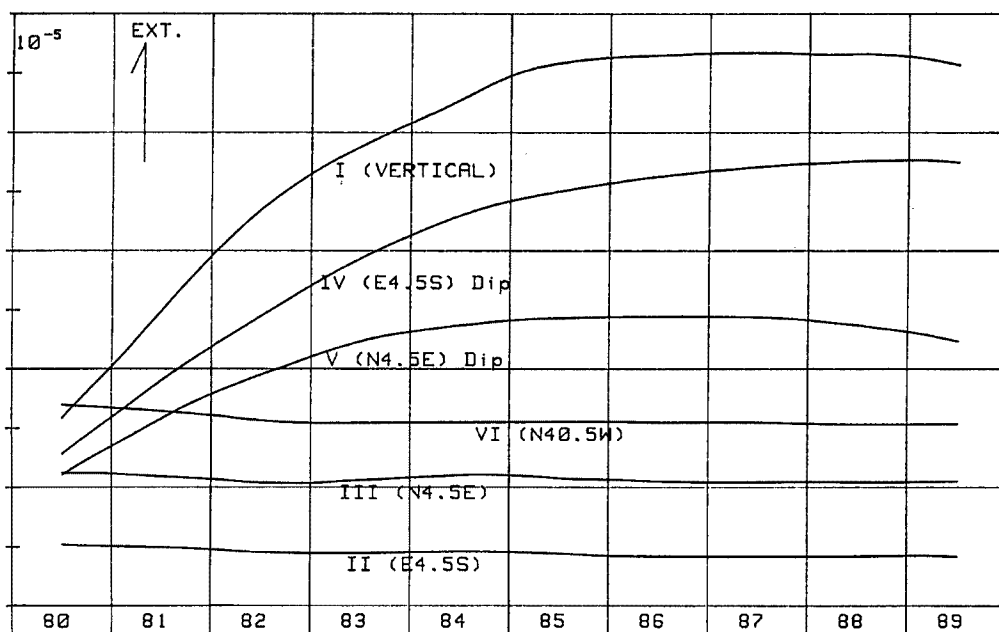


Fig. 5. Secular variations of ground strains.

計が設置出来るようにした。このような掘削のために上方の荷重が小さくなり坑道の上で収縮が生じたために、伸縮計の垂直方向の成分には伸びの変動が見られ、水平方向にはこれを補うために縮みが生じたと考えられる。

水晶管伸縮計3成分と比較のために、6成分（I～VI）のうち同じ方位の水平3成分の観測結果と移動平均の操作結果をそれぞれ **Fig. 6, 7** に示す。短周期の変動は水晶管伸縮計と同様で、ほぼ南北成分のⅢが最も大きく、N 40.5° W 成分のⅥが小さい。経年変化を見ると、1982年末頃までは3成分とも縮みの変動を

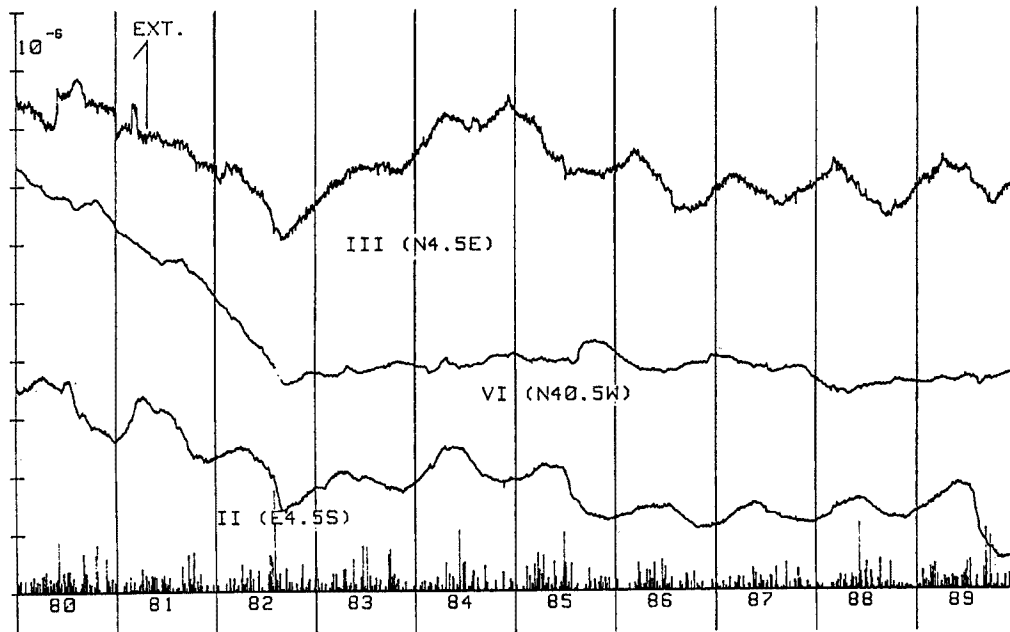


Fig. 6. Variations of ground strains.

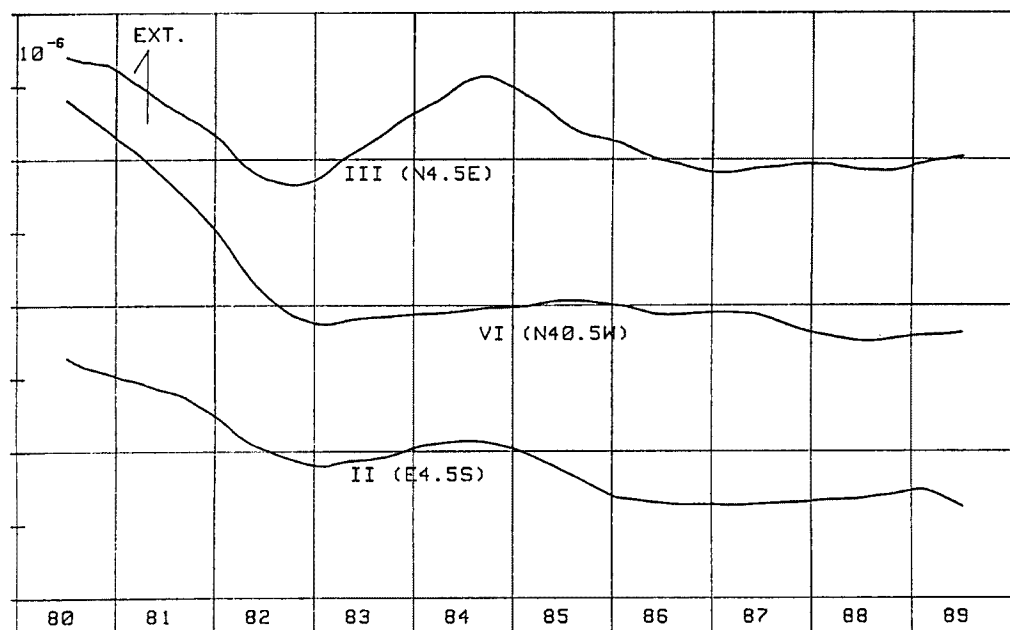


Fig. 7. Secular variations of ground strains.

示す。これは工事後の影響と考えられる。1983年以降を見ると、Ⅱ、Ⅲは一転して伸びに転じ、Ⅱは SE-1 より約半年、Ⅲは SE-2 より約1年早く縮みに変化する。このように変動傾向の変化時期は水晶管伸縮計と少し異なるがほぼ同じ傾向を示す。

2.2 傾斜変化

傾斜観測は水平振子型10台5組と水管傾斜計2成分で行っているが、HP-4 はドリフトが非常に大きいため、HP-3 は降雨のさいに変動が大きく、しばしばスケールアウトして記録の欠落があるため、水平振子型については3組の記録について考察する。365日の移動平均の操作結果の傾斜変化を Fig. 8 に、各組のその

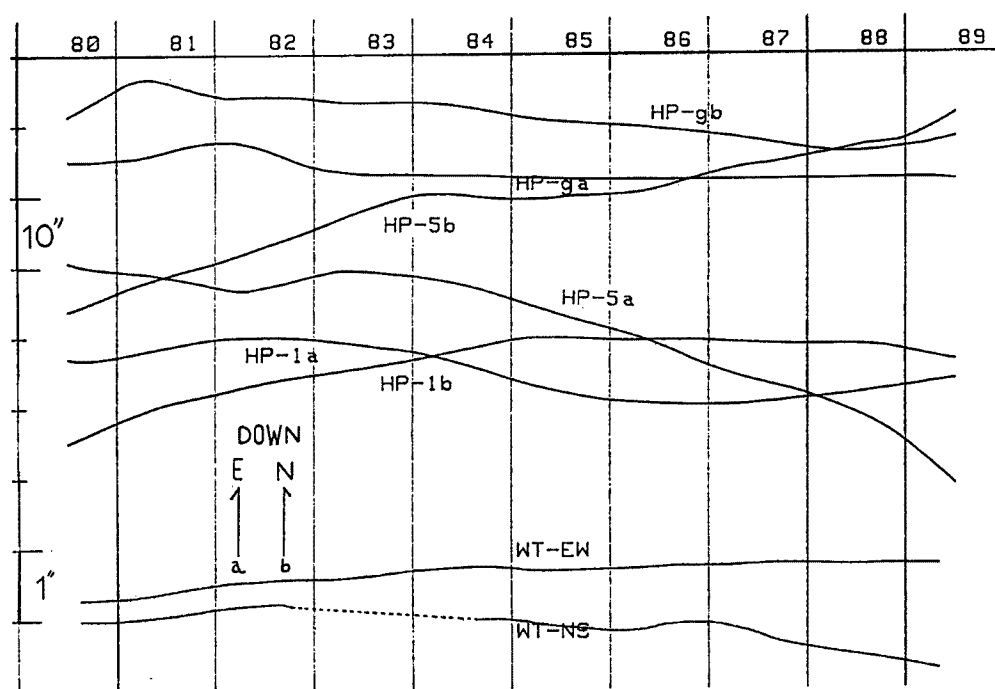


Fig. 8. Secular variations of ground tilts.

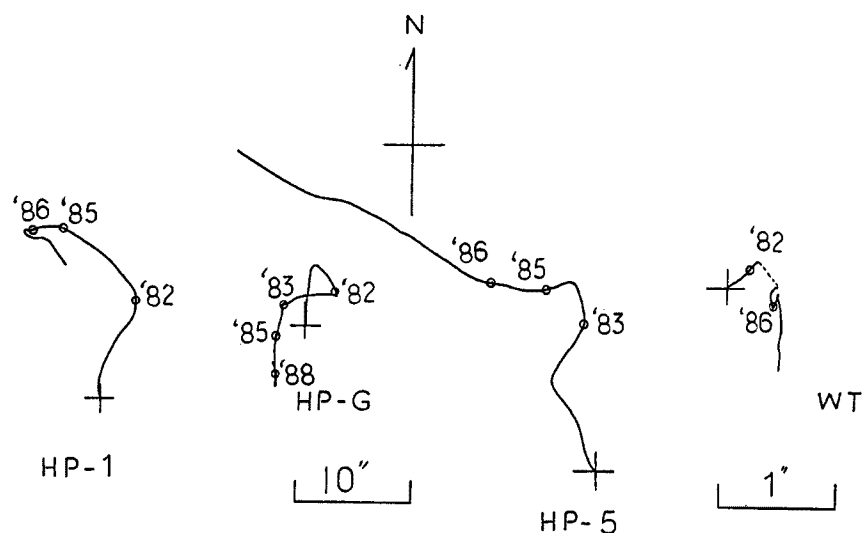


Fig. 9. Vector diagrams of ground tilts.

直交成分による傾斜スペクトル図を Fig. 9 に示す。水管傾斜計による傾斜ベクトルが観測所全体の傾斜変動を表していると考えられる。1982年までの北東下がりの傾斜は工事による影響と考えられるので、それを除くと、これまでに約1秒の南下がりの傾斜変動を示す。水平振子型傾斜計で最も大きな傾斜変動を示しているのは HP-5 で、1982年3月までは北北西下がりの傾斜を示しているが、その後北北東下がりに方向を転じ、1985年からは北西下がりの傾斜変動が見られ、傾斜量は約30秒である。HP-1 は1982年以後の北西下がりの傾斜から、1985～1986年には180°異なる南東下がりの傾斜方向の変化が見られる。HP-G は3組の水平振子型傾斜計ではその変動は最も小さく、1982年以降はほぼ西下がり、1983年には南下がりそして1988年には逆に北下がりへと傾斜方向が変化する。このように水平振子型傾斜計は傾斜方向、傾斜量とも場所により異なり、傾斜量は水管傾斜計より10～30倍大きい。水平振子型傾斜計による傾斜変動は局所的な変動を反映しているものと考えられる。傾斜変化と伸縮変化の相関は明かでない。

3. 光波測量結果

屯鶴峯基線を Fig. 10 に示す。1969年に3基線（国分，二上山，分川池）が設定されたが、国分，二上山の標石が破壊されたために、1974年にそれらを埋設し直し、又新たに2ヶ所に標石が設定され、二上山 (NJ O)，上ノ太子 (KAT)，国分 (KOB)，関屋 (SEY)，分川池 (BNK) の5基線で測量が開始された。1985年からはこれまでのジオジメータ6型から新しい600型が導入され、10 km 以上の長距離の測定が可能になったことから、基線長が12～13 km の畝傍山 (UNB) と耳成山 (MIM)，更に20 km を越える若草山 (WA

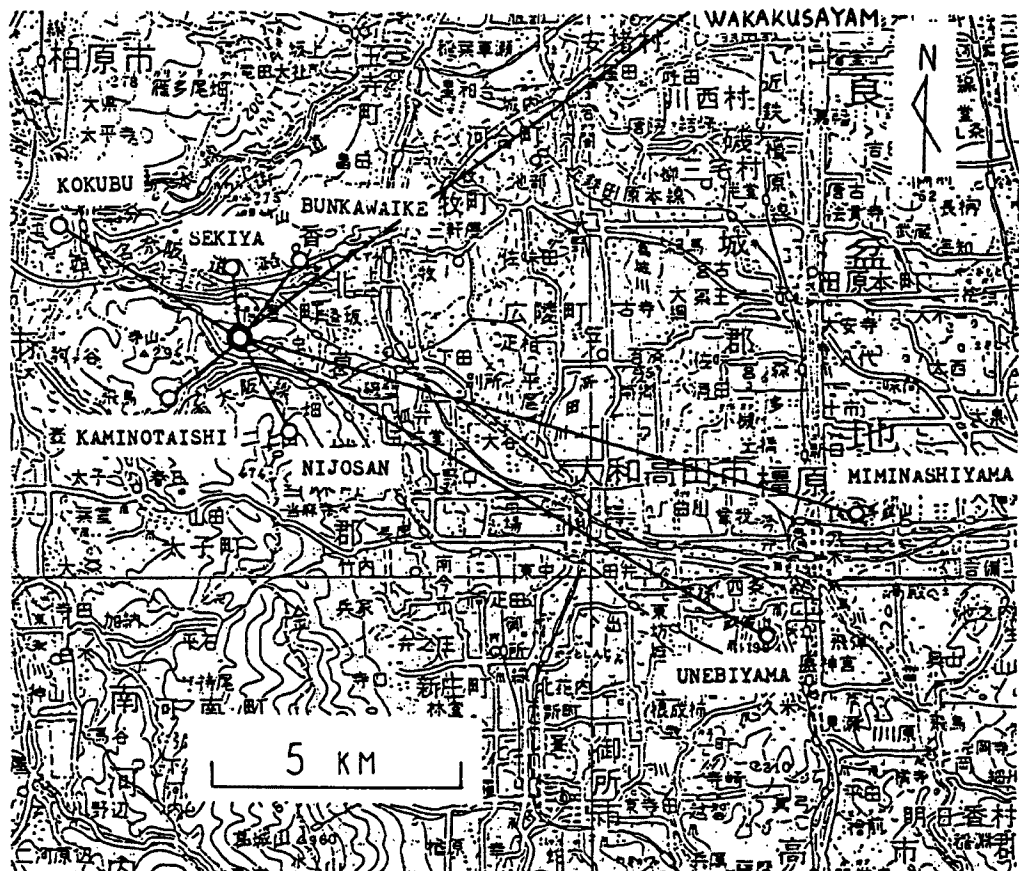


Fig. 10 Location map of base-lines of electro-optical distance measurement.

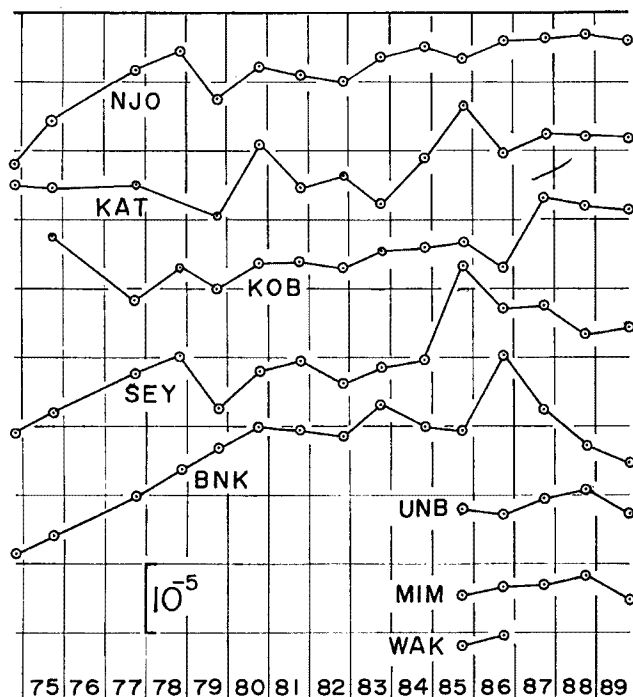


Fig. 11. Accumulation of horizontal strains at base-lines.

K) の 3 基線が追加された。若草山基線は奈良盆地を縦断しており大気の状態が不安定な市街地を通るために、これまで測定することが出来たのは1985年と1986年の2回だけである。Fig. 11 に各基線長の測定結果をひずみ量に換算して示す。

1980年以降の変動傾向を見ると、二上山基線は 0.7×10^{-6} /年の伸びが続いている。上の太子基線は1986年頃までは 1.3×10^{-6} /年の伸びが見られるが、その後 0.3×10^{-6} /年の縮みに変化する。国分基線も同様な変動傾向を示し1986年頃までは 0.5×10^{-6} /年の伸びを示し、ついで 1.2×10^{-6} /年の縮みに変化する。関屋基線は1985年頃まで 1.5×10^{-6} /年の伸びの変動があり、その後 2.2×10^{-6} /年の縮み変動に転じる。分川池基線は1986年まで 1.1×10^{-6} /年の伸びを示し、その後 5×10^{-6} /年の縮みに変化する。畝傍山、耳成基線は1985年から1988年に 0.9×10^{-6} /年の伸びの変動が見られる。若草山基線も2回の測定であるが伸びを示す。全体として見ると1985～1986年までは伸びの傾向が見られる。その後は伸びの変動が小さくなるか、或は上の太子、国分、関屋、分川池基線に見られるように縮みの傾向を示す。このような傾向の変化は伸縮計による連続観測結果とも良く調和している。

4. 地震活動

地殻変動連続観測結果の経年変化とこの付近の地震活動との関係を調べるために気象庁の地震月報に記載されているものから、観測所を中心に半径 50 km 以内の区域に起こった地震を選んだ。半径 50 km 以遠の南方では和歌山市周辺、北方では京都・奈良県境に活発な地震活動地域があるが、以内にはこのような地震活動地域はない。地震活動の消長を示す一つの目安として、それぞれの地震から地震エネルギーを求め、それらの平方根の値の累積値を求めてその推移を調べた。それを Fig. 3 に示す。この地域での地震活動は、1985年1月6日和歌山・奈良県境に $M=5.9$ と 5.5 の地震が発生してやや活発になっている。この時期と地殻変動の経年変動の傾向が変化する時期がほぼ一致しているようであるが、相関は明瞭でない。

5. ま と め

観測坑道の補強工事の影響は6成分の垂直方向の成分以外はほぼ1982年まで、垂直方向の成分は1985年頃まで続く。6成分の設置場所では坑道の上方への掘削の後上下方向には伸び、水平方向には縮みの変動が見られる。

地殻変動観測結果の経年変動には1985～6年にその傾向に変化が見られる。1985～6年までは全体に伸びの変動が見られ、南北方向の伸びの変動が顕著である。それ以後は伸びの変動は小さくなり、東西方向には縮みの変動が顕著になる。この変動傾向の変化は光波測量の測定結果とも調和している。

観測所を中心に半径 50 km 以内の地震活動は、1985年にやや活発になるようにも見られるが、地殻変動観測結果との相関は明瞭でない。

おわりに、御指導いただいた高田理夫名誉教授並びに光波測量を手伝っていただいた京都大学理学部竹本修三助教授そして同防災研究所大谷文夫氏、山田 勝技官に深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 高田理夫・古澤 保・竹本修三・屋上謙介：近畿中央部における地殻変動連続観測，測地学会誌，第28巻，第2号，1982，pp. 86-97.
- 2) 古澤 保・屋上謙介・高田理夫：屯鶴峯における光電変換装置による伸縮計のデジタル観測，測地学会誌，第19巻，第2号，1973，pp. 76-84.
- 3) 高田理夫・屋上謙介：地殻伸縮ひずみと降雨の関係について—屯鶴峯地殻変動観測所の場合—，京都大学防災研究所年報，第28号，B-1，1985，pp. 49-53.