

67. 長野市における地殻変動連続観測 (II)

—大峰観測点の傾斜変化 1969~1977—

地震研究所 { 小林 勝
千葉平八郎
羽田敏夫
橋本信一
大竹政和

国防防災科学技術センター

(昭和 53 年 8 月 1 日受理)

1. 序

東京大学地震研究所の北信微小地震・地殻変動観測所では、大峰観測坑 Fig. 1 で、1968 年末以来水管傾斜計 (WTT) 3 成分による横坑内地盤傾斜観測を行なってきた。定常観測にはいった 1969 年以後 1977 年 6 月まで 8 年 2 ヶ月の観測とそれにもとづく解析の結果を報告する。傾斜変動の大きさと方向は通常 2 成分観測から求めているが、われわれは 3 成分の同時観測データを用いることによって、水管傾斜計による傾斜変動観測

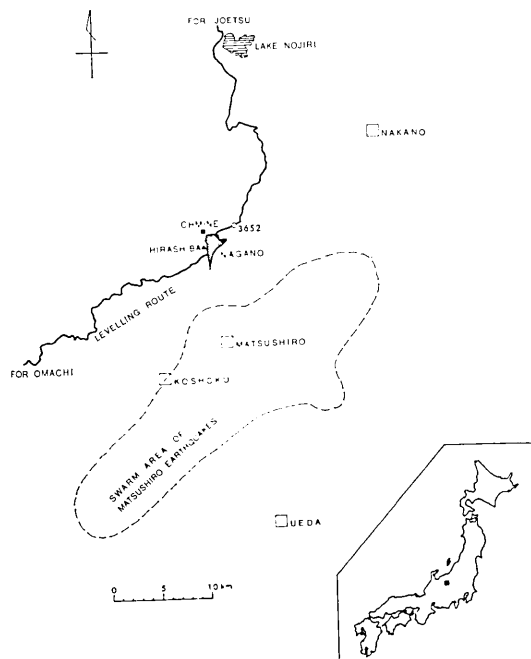


Fig. 1. Location of the Ohmine observation site.

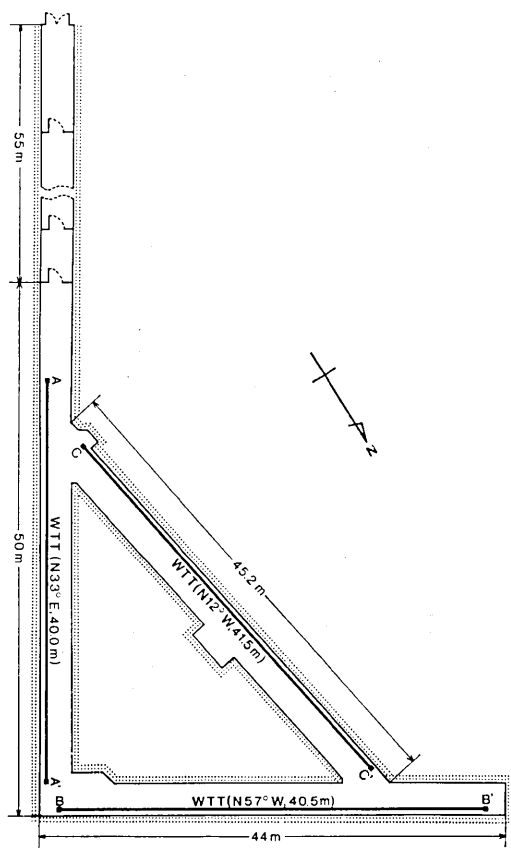


Fig. 2. Plan of the observation vault at Ohmine, and arrangement of WTT.

Table 1. Characteristics of Water-Tube Tiltmeter.

Component	Length	Resolution
AA' N33° E	40.0m	$\pm 1\mu \pm 2.5 \times 10^{-8} \text{rad}$
BB' N57° W	40.5m	$\pm 1\mu \pm 2.5 \times 10^{-8} \text{rad}$
CC' N12° W	41.5m	$\pm 1\mu \pm 2.4 \times 10^{-8} \text{rad}$

度はおよそ $2.5 \times 10^{-8} \text{rad}$ である (Table 1)。原則として、毎日 1 回定時の肉眼による読取りを行なっている。観測室は坑口から 55m 奥に設けられ 4 重の扉で外部と遮断されているため、気温は年間を通じて変化がなく、 14°C で一定である。

水管傾斜計 3 成分の読取結果を Fig. 3 に図示する。この図には、気圧、S-P 5 秒以内の地震の回数、坑内湧水量、降水量をいずれも日別にあわせて記入してある。このうち気圧および降水量は長野地方気象台の観測値である。傾斜変動は 3 成分とも、1969 年 5 月 14 日を初期値ゼロとしてある。CC' 成分では、1970 年および 1974 年の前後に長期の欠測期間があるが、これはいずれも水管の破損によるものであって両端のポットには欠測期

の信頼度について新たなる知見を得ることができた。

観測から明らかとなった傾斜の経年変化は、水準測量の結果とも、また第 1 報 (大竹・他, 1972) で述べた長野市内平柴 (大峰観測坑の南方約 2.2km) における永年傾斜変化ともよく調和する。このことは、大峰観測坑内の傾斜変動が長野市一帯の地殻変動に十分追従していることを示しており、横坑内での水管傾斜計観測が地域的な地殻変動を監視するために有効な方法であることを立証している。年間傾斜変動量は、松代群発地震の衰退と軌を一にして、8 年余の観測期間を通じてほぼ単調に減少している。

2. 観測方法およびデータ

観測横坑は、地殻変動連続観測を目的として長野盆地北縁に位置する大峰山中腹に 1968 年に掘削されたものである。地質は長野市の北西縁部に分布する麻積累層 (裾花流紋岩質凝灰岩) と呼ばれる中新世の海成層 (長野県地学会, 1962) である。観測坑内の水管傾斜計配置を Fig. 2 に示す。水管傾斜計の長さは約 40m、水位の読取精度は $\pm 1\mu$ 、従って観測精

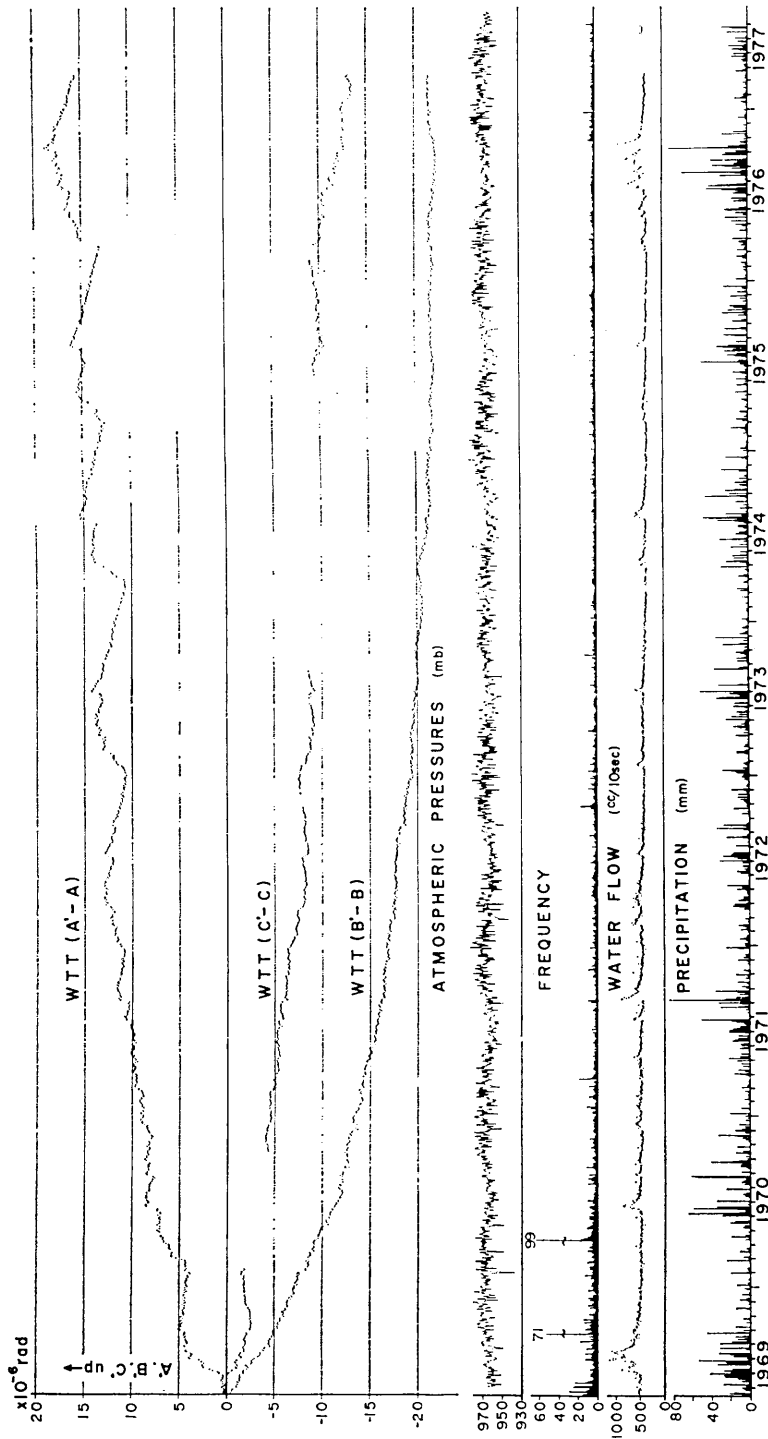


Fig. 3. Daily variation of ground tilt (three components), atmospheric pressure, frequency of earthquakes (S-P < 5.0 sec.), rate of water flow from the vault, and precipitation.

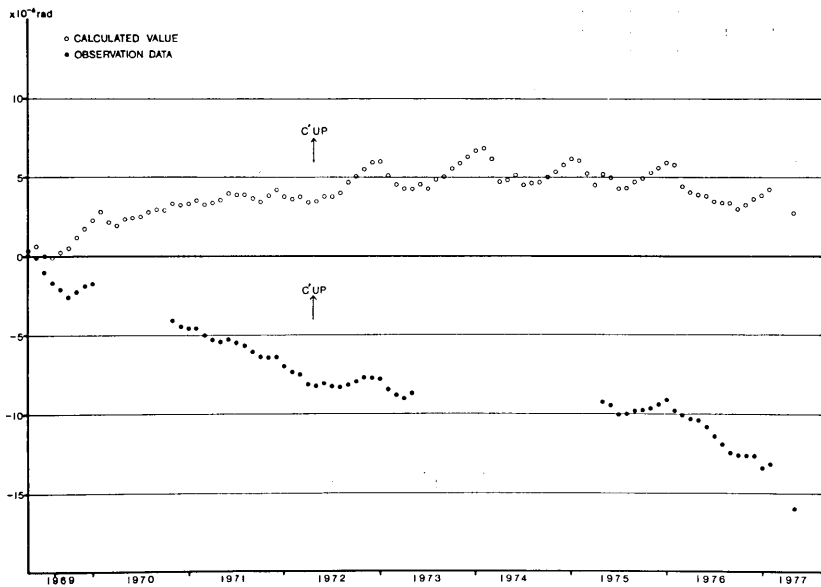


Fig. 4. Vector diagrams of ground tilt based on three component (open circle) and two component (closed circle) data.

The former values are computed by the least squares method.

問の前と後とで何の変更も加えられていない。従って、欠測期間の始めと終りとの観測値の差はそのまま地盤の実際の変動をあらわすものと考えてよい。

3. 長期の傾斜変化

従来傾斜変化は2成分を合成して求めるのが普通であるが、北信微小地震・地殻変動観測所には3成分の水管傾斜計が設置されているので、3成分による解析を試みる。CC'成分の月平均値について、実際の観測にもとづく値(黒丸)とAA'およびBB'両成分の観測値から期待される計算値(白丸)とを比較したのがFig. 4である。短周期の変化に着目すると両者の位相はほぼ一致している。しかし、永年的な変化については、計算値がゆるやかなC'上りを示しているのに対して実際の観測値は逆方向の上りを示している。両者の差は8年間に 20×10^{-6} radに達し決して小さな差違ではない。その原因が、岩盤が一枚岩として応答しないためなのか、あるいは水管ポットの支持台が沈下や傾斜をするためなのかいまだところ不明である。観測坑の中でBB'成分を斜めによぎる小規模な破碎帯が発見されているので、あるいはこれを境界とする岩盤の相対運動が進行しているのかもしれない。

Fig. 5に月平均値にもとづく傾斜変動ベクトル図を示す。黒丸は直交するAA', BB'両成分を合成したもの、白丸はAA', BB', CC'の3成分より最小2乗法を用いて計算したものである。全体として東ないし東北東方向に隆起する傾斜変動が顕著で、隆起方向は、2成分合成からはE, 3成分合成からはN73°Eとなる。両者間で17°ほどちがっている。以下、より信頼度の高い3成分合成結果にもとづいて議論をすすめることにする。

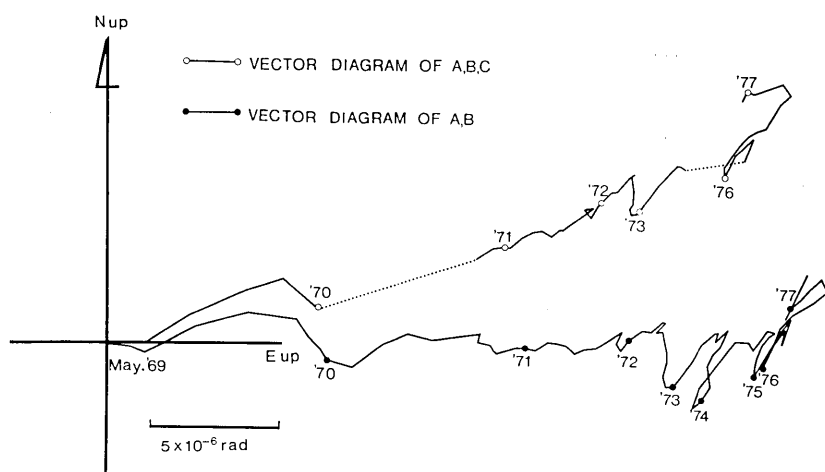


Fig. 5. Comparison between observed (closed circle) and calculated (open circle) ground tilt for CC' component. Calculated values are obtained from the data observed for AA' and BB' components.

傾動速度は 1969 年後半には 13×10^{-6} rad/yr 程度であったものが 1970~71 年には 8×10^{-6} rad/yr, 1971~72 年には 4×10^{-6} rad/yr と順次減少する傾向を示している。傾動運動は 1972 年以後著しく減速し、1975 年ごろからはほぼ完全に停滞していることがわかる。松代群発地震に関連して、東京大学地震研究所および国土地理院は 1965 年から 67 年にかけて数回、長野市を含む広域の水準測量を実施した (坪川・他, 1967; 国土地理院, 1966, 1967 a, 1967 b)。その結果、長野市北東部の吉田 (BM. 3652) を中心とする直径約 9 km の地盤隆起が発見された。この隆起運動は 1965 年末に始まり、1966~67 年に激しく進行した。1967 年 3 月までの隆起量は BM 3652 で約 7.5 cm であった。1973 年に行なわれた最新の水準測量の結果 (国土地理院, 1974) をみると、1967 年以後の隆起量はそれ以前の隆起量の 30~40% と推定される。われわれの観測坑は BM 3652 の西方約 3.0 km の地点にあり、隆起域内部にあるものと思われる。Fig. 5 に示した傾斜変動は、傾斜方向からみても、傾動速度が単調に減少する様子からみても、上述した吉田の地盤隆起とよく調和している。

4. 平柴観測点との比較

第 1 報で報告したように、本観測坑南方 2.2 km の平柴観測点で 1967~71 年の間 N 13°E の隆起軸を持つ永年の傾斜変動が観測された。傾動速度は、平柴と大峰の観測の重複している 1969~71 年の期間を比較すると大峰の方が 2~3 倍程大きい。この傾動速度のちがいは、地盤隆起の中心からの距離のちがいに対応している。水準路線上で最大隆起を示した BM 3652 から大峰、平柴までの水平距離はそれぞれ 3.0 km, 3.7 km である。平柴観測点のすぐ東側には善光寺地震 (1847 年, $M=7.4$) の際にくいちがいを生じた走行ほぼ南北、東落ちの断層が走っている (森本・他, 1966)。もしこの断層がクリープ変化を

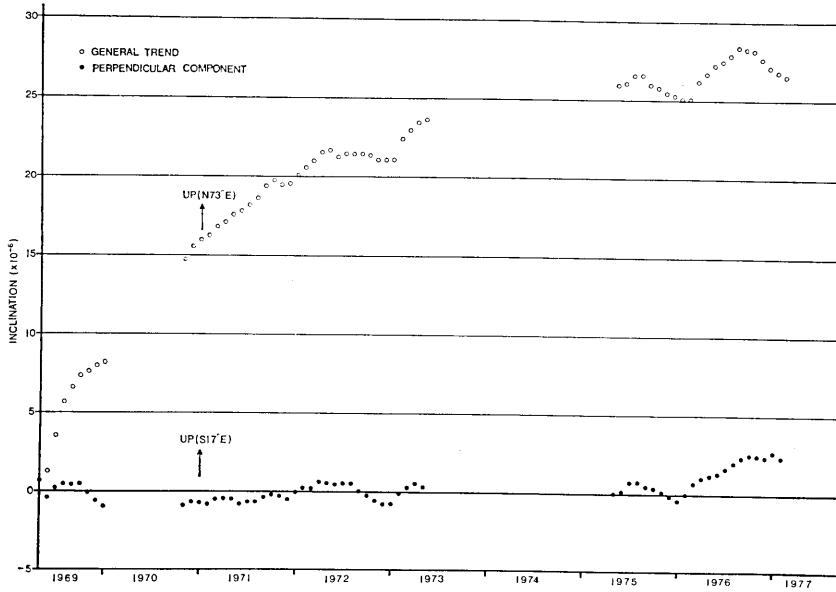


Fig. 6. Variation of ground tilt along the general trend and the perpendicular direction.

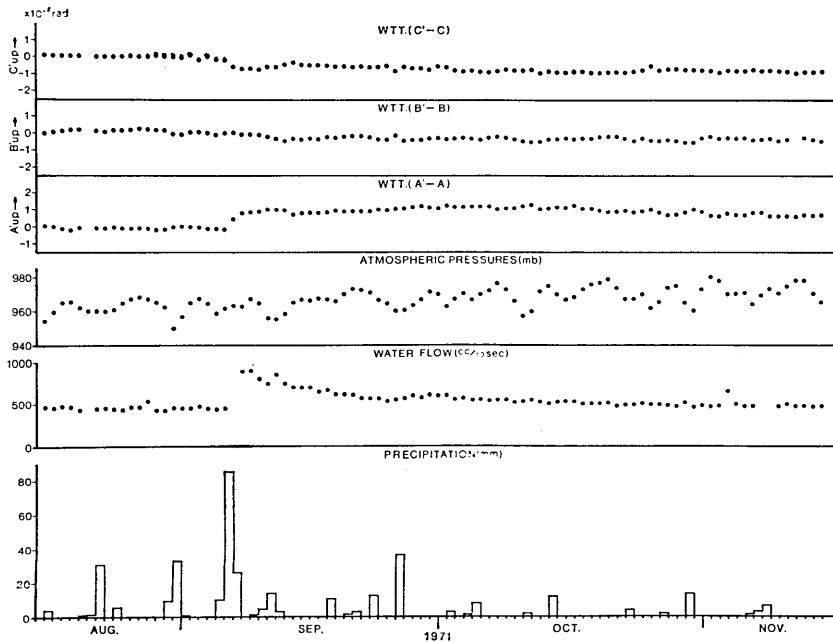


Fig. 7. Effect of rain fall on ground tilt. See the caption of Fig. 3.

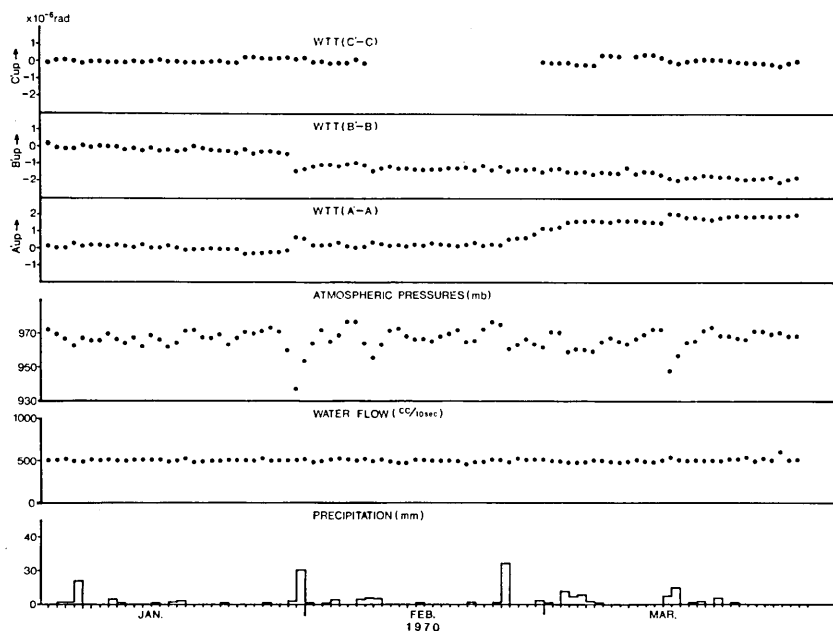


Fig. 8. Effect of atmospheric pressure on ground tilt. See the caption of Fig. 3.

していれば平柴の観測値に影響が現われるはずであるが、いまのところそのようなクリープ運動をうらづける証拠はない。

平柴観測点における傾斜変化には、N 13° E の隆起軸に直交する年周変化が明瞭に現われた。大峰においても Fig. 6 に示すように隆起軸に直交する季節変化が認められるが、その振幅は 3×10^{-6} rad p-p 程度で、平柴の 1/2~1/3 にすぎない。外気との遮断、地山のかぶりの厚さなどの点で、大峰観測点の方が数段まさっているためであろう。

5. 降水および気圧の影響

Figs. 7, 8 に、水管傾斜計 3 成分の観測値、気圧、坑内湧水量、降水量の変化を詳しく比較した例を示す。Fig. 7 をみると、坑内湧水量は、80 mm をこえる大雨の直後に平常時の 2 倍程に増し、その後 1 ヶ月程かかって徐々に減りながら元の値に戻っている。傾斜観測値に対する影響は最大傾斜量で 1.2×10^{-6} rad におよび、約 10 日間にわたって影響をあたえているようにみえる。

Fig. 8 には長野市における降水量が比較的少なく、坑内湧水量も安定している時期のデータを選んで図示してある。気圧は長野地方気象台気圧データの毎日 9 時の観測値で、高度補正は行なっていない。水管傾斜計には、気圧が高い方に変化した時は影響が出ないが、気圧が 950 mb より低くなった時に影響が出始める。傾斜変化の方向はいつでも一定で、A', B 上がりである。CC' 成分は気圧の変化を受けにくい、大きな気圧低下があるとわずかに C 上りの変化を示す。これらの方向が長期の永年の傾斜変動の方向と一致していることは興味深い。観測期間中に気圧変化で最大傾斜量が 1.5×1.0^{-6} rad の変動

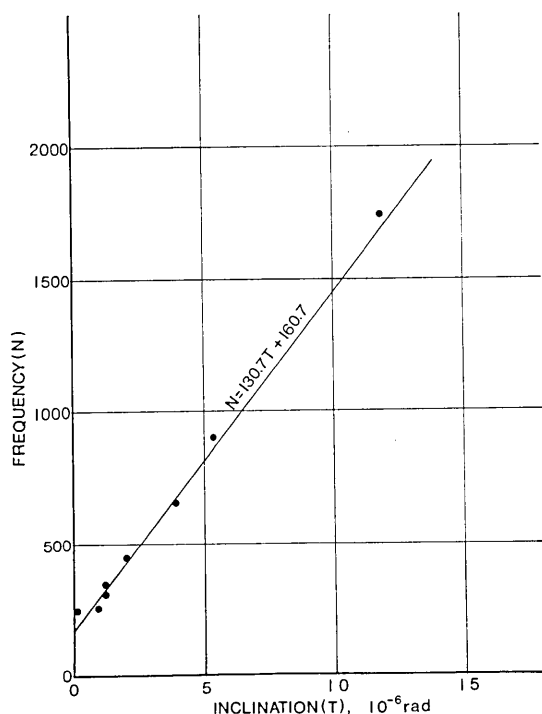


Fig. 9. Relation between annual amount of ground inclination T , and annual frequency of local earthquakes N ($S-P < 5.0 \text{ sec.}$).

観測点で $S-P$ 5 秒以内、片振幅 1 mm ($150 \mu \text{ kine}$) 以上の 1 年間の地震回数で、そのほとんどが松代地震群発域 (Fig. 1) 内に発生したものである。最小 2 乗法で両者の関係を求めると、

$$N = 130.7 T + 160.7$$

となる。

7. 結 び

本報告の主要な結論は次のとおりである。

1) 大峰観測点における 1969 年～1977 年の地盤傾斜は $N 73^\circ E$ 上りの永年変化を示し、水準測量から見出された長野市北東部 (大峰観測点東方) の隆起そのものを捕えているものと考えられる。この隆起運動は徐々に衰え、1975 年ころより停滞しているように見える。

2) 降水量による影響が水管傾斜計の観測値にあらわれており、最大で 1.2×10^{-6} rad 程度で、影響が 10 日程残る。

3) 長野市において気圧が 950 mb より低くなると水管傾斜計の観測値に影響があらわれる。その大きさは最大傾斜量で 1.5×10^{-6} rad 程度で、影響は短期間である。気圧低下時の傾斜変化の方向は、長期の永年の傾斜変動の方向と一致する。

4) 年間傾斜変動量 T (単位: 10^{-6} rad) と大峰付近の年間地震回数 N との間には N

を受けた事がある。この気圧による影響は雨量のように長期間にわたるものでなく、気圧が高くなると元に戻る。

6. 地震と傾斜変化

観測期間中にマグニチュード 5 以上の松代地震が 1 個 (1970 年 4 月 9 日, $M=5.0$) 発生したが、この地震に対して明瞭に対応する水管傾斜計の変化は認められなかった。大峰観測点には高感度電磁式地震計 ($150 \mu \text{ kine/mm}$) が設置されており、地殻変動観測と平行して微小地震観測も行なわれている。付近の地震活動と傾斜変化を比較してみるとかなりはっきりした関係がみられる。Fig. 9 は水管傾斜計による 1 年間の傾斜変動量 T (単位: 10^{-6} rad) と、大峰観測点付近の年間地震回数 N との関係を示したものである。 N は大峰

$=130.7 T+160.7$ の関係が成り立つ。

謝 辞

大峰の地殻変動連続観測に際し山田重平氏(前地震研究所勤務)には、観測計器設置から多大な御協力を得ました。あつく御礼申し上げます。

文 献

- 国土地理院, 1966, 松代群発地震に伴う測地測量報告(第1報), 55 pp.
 国土地理院, 1967 a, 松代群発地震に伴う測地測量報告(第2報), 62 pp.
 国土地理院, 1967 b, 松代群発地震に伴う測地測量報告(第3報), 44 pp.
 国土地理院, 1974, 信越地方の上下変動, 地震予知連絡会会報, 11, 66-68.
 森本良平・村井 勇・松田時彦・中村一明・恒石幸正・吉田鎮男, 1966, 松代群発地震地域とその周辺地方の地質, 地震研究所彙報, 44, 423-445.
 長野県地学会, 1962, 長野県地質図.
 大竹政和・山田重平・小林 勝, 1972, 長野市における地殻変動連続観測(I)一平柴観測点の傾斜変化, 1967~1971一, 地震 2, 25, 243-253.
 坪川家恒・岡田 惇・田島広一・村田一郎・長沢 工・井筒屋貞勝・井藤 裕, 1967, 松代群発地震にともなう水準測量(第1報), 地震研究所彙報, 45, 265-288.

67. *Continuous Observations of Crustal Deformation at Nagano City, Central Japan (II)*

—*Ground Tilt at Ohmine Observation Site, 1969~1977*—

By Masaru KOBAYASHI, Heihachiro CHIBA, Toshio HANEDA, Shiñichi HASHIMOTO,
 Earthquake Research Institute,
 and
 Masakazu OHTAKE,
 National Research Center for Disaster Prevention.

Continuous observation of ground tilt with the water-tube tiltmeter (WTT) has been carried out in Nagano City, central Japan since 1969. The tiltmeter is composed of three water-tubes of about 40 meters length which form a right triangle in the vault. Based on the observation from May 1969 to June 1977, we found westward inclination of the ground amounting to 26×10^{-6} rad. The velocity of the secular tilt motion, as high as 12×10^{-6} rad/yr during the first half year, gradually declined and tended to zero in the later stage of the observation period. These features are consistent with the results of precise levelling carried out in and near Nagano City: local upheaval of the ground centering around the Bench Mark 3652 (3.0 km to the east of the observation vault) started in early 1966 amounting to 7.5 cm in March 1967. The latest resurvey in 1973 suggests an additional upheaval (30~40%) during the subsequent six years. This finding demonstrates that continuous observation of ground tilt with WTT can successfully interpolate levelling data, and provides useful data for monitoring local crustal deformation.

We also discuss the relation between short period tilt change and meteorological factors such as precipitation and change in atmospheric pressure.