

松代における地殻変動の連続観測結果について*

山 岸 要 吉** · 泉 末 雄*** · 相 原 奎 二****

550. 341

Observation of Crustal Deformation at Matsushiro

Y. Yamagishi, S. Izumi and K. Aihara

(Matsushiro Seismological Observatory)

The results of observations on the ground tilt and expansion at the Matsushiro Seismological Observatory from 1949 to 1975 are reported in this paper.

The amount of ground tilt motion observed by a tiltmeter of pendulum type is 3 times greater in N-S component and 1.5 times in E-W component than that of a tiltmeter of water tube type.

Perceptible local earthquakes near Matsushiro, whose $S-P$ time is less than 3 sec., occurred after the tilt vectors by water tubes and horizontal pendulums shows different directions. This tendency continues from 1953 until 1963.

From 1963 these tiltmeters started indicating different direction of tilt motion all the time, and after about 3 years the Matsushiro earthquake swarm occurred.

In September, 1966 during the Matsushiro Swarm, the ground tilt motion changed its direction from ESE-up to SW-up. At the same time, the ground upheaval changes to subsidence in the central area of the ground deformation.

After 1968, in accordance with the diminution of the swarm activity, the ground deformation also becomes quieter: the annual change of tilt is $0.2''$ with SW-up, and the annual ground contraction is 4.8×10^{-7} in N-S component and 2.0×10^{-7} in E-W component.

The precipitation has a large effect on the ground tilt and linear strain of N-S component. When the total amount of precipitation is over 80 mm, the effect on the ground deformation is saturated with maximum values of 1.8×10^{-7} in expansion and 0.11 sec. in tilting. The duration of the effect has an exponential relation to the amount of precipitation.

§1. に じ め に

昭和22年(1947年)5月1日気象庁地震観測所(東経 $138^{\circ} 12' 25''$ 北緯 $36^{\circ} 32' 31''$ 標高 407m)が創設され各種の整備を進めるとともに、地殻変動観測のためには、石本式水平振り型傾斜計2成分、水管傾斜計2成分が設置された。観測坑は第二次大戦末期に堀削されたものをそのまま利用したため、観測環境としては不満足な点が多かったが、これもその後徐々に整備され、測器の

改良、更新もつづけられ現在に至った。

この間 100m伸縮計2成分の設置工事のために観測が一時中断されたこともあったが、ここに1951年から1975年までの当所における傾斜、伸縮についての観測結果をとりまとめ、あわせて若干考察したので報告する。

§2. 観測坑と測器の配置

観測坑の岩質は主に閃緑玢岩で、一部黒色頁岩から成っている、延長約 2600m の横穴式坑道で、そのほぼ中央に諸測器が設置されている。山の稜線までの被覆厚は約 100m である。地殻変動観測に用いている測器の配置は、Fig. 1 に示したとおりである。

計器台は注意深く基岩と接着させてある。坑内の温度

* Received April 1, 1976

** 現観測部地震課

*** 地震観測所

**** 現地磁気観測所

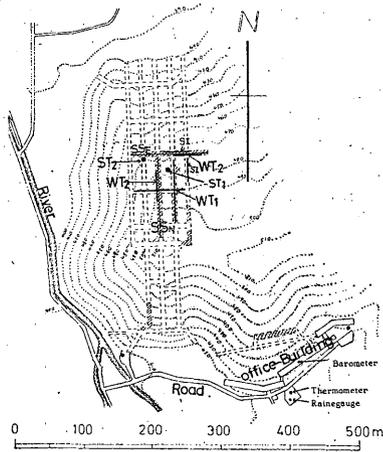


Fig. 1. Map of Matsushiro Seismological Observatory

は入口から流入する外気の影響もあって、1964年までは年変化の較差は約 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ あった。しかし1965年からは観測測器室にそれぞれ扉をつけ、外気の流入を極力防ぐようにしたため、年変化の較差は、 0.1°C 以下になった。また、坑道内で使用している電気機器等の放熱のためか、1965年8月から1975年12月までの10年間で坑内温度は約 0.8°C 上昇している。

§3. 測 器

測器の諸定数と観測期間を、Tab. 1. に示す。

Tab. 1. Constants of the Instruments

Instrument	Mark	Azimuth	Span (m)	Sensitivity	Recording method	Period of observation
Silica-tube extensometer	SI	N 2 E	25	$2 \times 10^{-8}/\text{mm}$	optical recording	1953. 9-1964. 9
	SI'	W 2 S	25	$2 \times 10^{-8}/\text{mm}$		
Silica-tube extensometer (Strain seismograph)	SS	N 2 W	100	$2.1 \times 10^{-9}/\text{mm}$	analogic recording	1965. 8. 1-present
	SS	E 2 N	100	$2.1 \times 10^{-9}/\text{mm}$		
				$1.7 \times 10^{-10}/\text{mm}$		
Water-tube tiltmeter	WT 1	N 2 W	94	$0.002''/\mu\text{m}$	direct reading	1951. 1-1964. 9
		E 2 N	73	$0.003''/\mu\text{m}$		
	WT 2	N 2 W	40	$0.005''/\mu\text{m}$		1965. 10-present
		E 2 N	40	$0.005''/\mu\text{m}$		
Horizontal pendulum tiltmeter (Ishimoto type)	ST 1	NS		$0.0265''/\text{mm}(T=30.0 \text{ sec})$	optical recording	1950. 2-1964. 9
		EW				
	ST 2	NS		$0.0265''/\text{mm}(T=30.0 \text{ sec})$		1949. 9-present
		EW				

(A) 石英管伸縮計 (SI)

外径7mm長さ1mの溶融水晶管を磷青銅製の接ぎ手で長さ25mに連結し、一端をインバールの金具で固定し、他端をミラー付きの回転軸で支え、この軸の回転角を光学的に記録している。固定端と自由端の間は1m毎にコンクリート柱を立て、その上面にガラス板を置き、その上にのせられたローラーによって水晶管を支えている。観測は1953年9月開始し、1964年9月100m石英管伸縮計設置工事のため観測は中止して撤去した。

(B) 石英管伸縮計 (SS)

内径30mm外径40mm長さ2mの溶融水晶管50本を、エポキシ系接着剤を用い長さの方向に接着剤が入らないように工夫して接着し、また2m毎に、ステンレススチールの細線で水平に吊っている。

Transducerは容量型変換器で差動型Condenserを形成して同調回路を作り、その同調曲線の直線部分の中央が水晶共振器の周波数(4.25MHz)になるようにしてあって、地殻の伸縮による容量変化で弁別回路の出力信号電圧が変る。この電気信号を直流増幅器を経て、Low-Pass filter(500秒以上)をとおし、自動平衡記録計で長周期変動部分を記録している。またBand-Pass filter(500秒~5秒)をとおし、自動平衡記録計で地震波動を記録し、ひずみ地震計としている。

検定装置としては石英管の固定端に直列に入れられた磁歪型歪発生器に所定の電流を流して、その磁歪効果により、倍率の検定を行う。静磁歪子には純ニッケルの丸

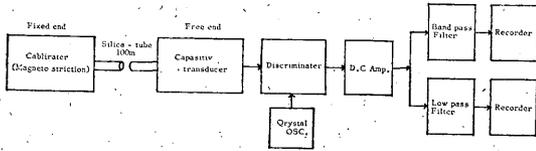


Fig 2. Block diagram of strain sismograph.

棒を使用している。このダイアグラムを Fig. 2 に示す。

(C) 水管傾斜計 (WT₁)

読取装置は震研B型で、水管には、外径35mm内径25mmの鉛管を使用した。観測坑道が25/1000の北下りの傾斜であるため、南端と北端の読取装置取り付け台の高さの違いが約2mあった。これによって、1951年1月から観測をはじめて、1964年9月、100m石英管伸縮計設置工事のため撤去した。

松代群発地震発生直後の1965年10月から気象庁と東京大学地震研究所との共同で、内径12.6mmのガラス管による40m長震研A型水管傾斜計 (WT₂) 2成分の観測をはじめたが、1967年3月共同観測を打ち切り、1967年9月以後は当所で観測を続けている。観測は1日1回、両端の水位を顕微鏡を用い直接読取る方式で、その精度は、1ミクロンである。

(D) 水平振り型傾斜計 (ST₁)

周期30秒で使用しているが、変動の大きい冬期間には、15秒にし、感度を下げて使用した。1950年2月から観測をはじめて1964年9月坑道内の工事のため中止し、その後1973年7月から観測を再開した (ST₂)。

(E) その他

観測坑内3ヶ所の温度、湿度を横河電機製 HMT-11型温湿度計で常時記録している。また観測坑内中央部に二重管棒状温度計によって1日1回観測を行っている。なお降雨等の坑内への浸透水を転倒桁式自記雨量計で観測している。また坑外では気圧計、温度計、雨量計によって気象観測を行っている。その位置は Fig. 1 に示した。

§4. 観測とその結果

(A) 傾斜変化

1951年1月から1975年12月までの水管傾斜計による傾斜変化と観測坑内温度の月平均値を Fig. 3 に細線で示した。1964年9月から1965年10月までは、100m石英管伸縮計を設置する工事のために水管傾斜計を一時撤去して観測を中断した。この欠測中の1965年8月に松代群発地震が発生し始め、群発地震発生前1年間の観測が中断

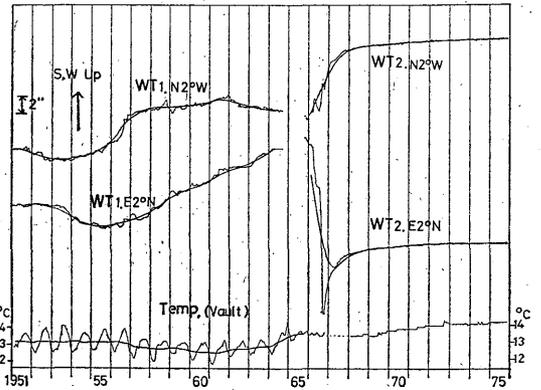


Fig 3. Secular variation of tilt with water-tube tiltmeters and temperature in vault. Bold line; secular change with temperature correction.

されたことは残念であった。坑内温度と傾斜変化の年変化の対応から温度補正係数を求めると、N2°W成分が、0.15"/°C北上り、E2°N成分が、0.22"/°C西上り、これで温度補正を行い、さらに、志知(1973)の言う改良12ヶ月幅移動平均(12, 10, 8), 1回(今後ここでは「デジタルフィルター1」という)を行って図中の太線で示した。

Fig. 4には水平振り型傾斜計による傾斜変化の1949年から1964年9月までの月平均値を細線で示した。太線はデジタルフィルター1を行ってさらに、傾斜量と坑内気温との年変化の対応から温度補正を行ったものである。

Fig. 3と Fig. 4 から水管傾斜計と水平振り型傾斜計

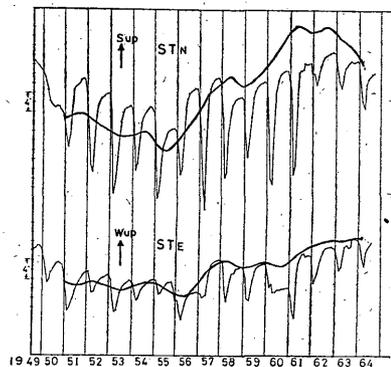


Fig. 4. Secular variation of monthly mean tilt with horizontal pendulum tiltmeters. Bold Line; secular change with temperature correction.

による傾斜変動をみると、水平振り型傾斜計による変動量は水管傾斜計による値に比べて、南北成分は3倍、東西成分は1.5倍程度拡大されているが、両傾斜計による変化の傾向は大体同じである。こうした拡大現象は、犬山については飯田他(1969)や、長野市における大竹他(1972)の調査等で、すでに指摘されており、水平振り型傾斜計は、小ブロックの動きを示しているものと考えられる。

水管傾斜計と水平振り型傾斜計による月平均値に、デ

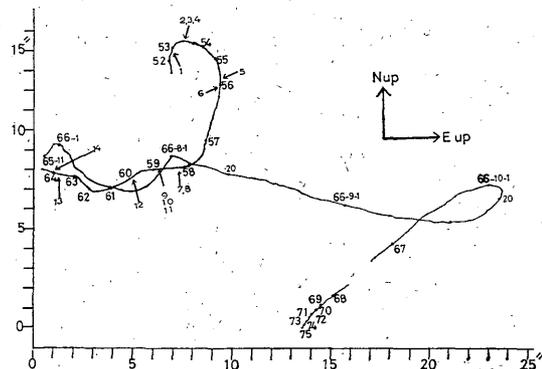


Fig. 5 (a). Vector diagram of the ground tilt with water-tube tiltmeter from Aug. 1951—Dec. 1975.

Figures (arrow): Numbers of the earthquakes shown in Tab. 2.

ジタルフィルター1を行った値で両者のベクトルを Fig. 5 a, b に示す。

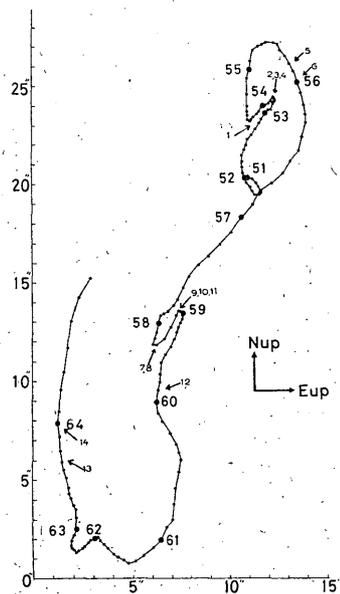


Fig. 5 (b). Vector diagram of the ground tilt with horizontal pendulum tiltmeter from Jan. 1951—Aug. 1964.

Figures (arrow): Numbers of the earthquakes shown in the table 2.

Tab. 2. List of felt earthquakes of $S-P=3.0$ sec. at Matsushiro Seismological Observatory

No	Year	Date	$S-P$ (sec)	Intensity	Remarks
1	1952	Dec. 27	1.3	3	36.5 N, 138.2 E, $M=5.2$
2	1953	May. 24	1.8	1	Northern Nagano Pref.
3		Jul. 6	1.1	1	Near Matsushiro
4		Jul. 6	1.2	1	Near Matsushiro
5	1955	Oct. 24	1.3	1	Northern Nagano Pref.
6	1956	Jan. 27		1	Northern Nagano Pref.
7	1958	Apr. 4	2.4	2	36.6 N, 138.4 E
8		Apr. 6	2.4	2	36.4 N, 138.1 E
9		Oct. 28		1	Near Matsushiro
10		Nov. 24	2.	1	Northern Nagano Pref.
11		Dec. 27		2	36.5 N, 138.1 E, $M=5.1$
12	1959	Oct. 26	2.4	1	Northern Nagano Pref.
13	1963	Sep. 8	1.3	1	Northern Nagano Pref.
14	1964	Jan. 22	2.7	1	36.4 N, 138.1 E

(after Arakawa and Suyehiro)

この図において1953年～1955年、1958年～1959年あるいは1963年～1964年等における両者の変化を比較してみると、その違いが目立つ。そしてこのような時期に、Tab. 2 の松代付近で発生した有感地震をベクトル図中に矢印で記入して、その関連をみると、1952年～1955年には、 $M=5.2$ の地震をはじめとして、 $S-P$ 1.8 秒以下の有感地震が5回発生しており、1958年～1959年には、これよりやや遠方に、 $M=5.1$ を含む一連の地震が発生している。

このようにして局地的な群発性の地震に伴う地殻ブロックの傾動が水管傾斜計と水平振子型傾斜計とのベクトルの違いとして現われたように考えられる。

また1963年からも両者の傾動方向が違っていることがはっきりしている。この時期には、1963年9月と1964年1月に有感地震があった。そして1963年前半には松代付近の微小地震回数が急増していると荒川、末広 (1970) が指適している。

観測が中断された1964年9月まで水平振子型傾斜計では拡大作用のためか、北北東上りの傾向が強調されている、この方向は当所からみて、1965年8月からはじまった、松代群発地震の初期の震源域の中心地とほぼ一致する。この震源域は水準測量の結果かなりの隆起があったことが、坪川他 (1967) によって報告されている。

また当所の観測資料から V_P/V_S の値が、1963年から小さくなっていると、Wyss, Holcomb (1973) によって報告されている。

なお、当所から北北東約 3 km にあたる松代町加賀井温泉の一陽館では、1963年ごろから湧出量が減り、新しい井戸を掘らなければならなくなったと春日 (1967) はいつている。

これらのことから、両傾斜計におけるベクトル図において、傾動方向の違いが現われ出した、1963年ごろから松代群発地震との関連としての時期を検討すると、志知 (1972) のいう、水準測量と傾斜計による観測の一致が見出せたという 10 km 四方における、松代群発地震のエネルギーを、市川 (1969) によるこの地区における体積とエネルギーの式から求めると、 $3 \times 10^{19} \sim 2 \times 10^{20}$ エルグとなり、 $M=6.1$ に相当する。そして坪川 (1969) による、マグニチュードと歪の蓄積期間との関係式 $\text{Log } T = 0.79 M - 4.44$ から約 2 年 8 ヶ月となって、時期的には松代群発地震との関連があるとみてさしつかえないと思う。

なお Fig. 5. a. で 1963年後半からは傾斜速度が増してきていることは、1969年9月9日の岐阜県中部地震に

よる、犬山、上室での観測 [志知 (1972)] からもうなづける。

1965年10月から、1967年3月までの松代群発地震に伴う傾斜変化観測の結果については、山田 (1973) によって詳細に報告されている。

1967年以後は松代群発地震回数の減小とともに傾斜変化も少なくなって現在では、南西上りで、 $0.02''$ /年になっている。

(B) 伸縮変化

1954年から1964年までは、25m石英管伸縮計 (SI)、1965年から1975年までは、100m石英管伸縮計 (SS) の伸縮変化の月平均値を細線で、これにデジタルフィルター 1. を行ってさらに、坑内温度と伸縮変化の年変化との対応から、温度補正を行ったものを太線にして Fig. 6 に示した。

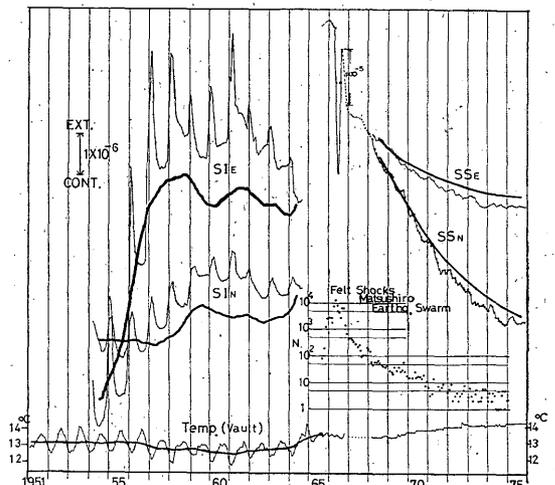


Fig. 6. Secular variation of monthly mean strain with the extensometers, temperature in the vault and number of felt shocks of the Matsushiro earthquake swarm.

Bold line: Secular change with temperature correction.

100m石英管伸縮計は1965年8月正式観測をはじめると同時に、松代群発地震が発生し始めたため、観測初期における測器の不安定と、極く近くに発生した地震のため、東西成分は初めの2年間は、連続観測としての値は、不確実であるので、この調査からは割愛した。

25m石英管伸縮計は観測がはじまって約2年間は東西成分に急激な伸びがみられたがその後は南北成分に比較して、伸縮の年変化量は3~4倍はあるが安定してきた。この東西成分の急激な伸びについては、坑内に外気の流

入等があって、その通路になっていたためらしいが、はっきりした原因は、わからない。

長周期的な変動で1959年の後期に、東西成分は縮みから伸びに、南北成分が伸びから縮みに変わった。いわゆる折れ曲り点については、田中豊(1972)、志知(1972)によって、遠隔観測点相互に相関が認識され始めている地殻変動のリズムの一つとして松代に現われたものであろう。この広い地域における地殻変動の類似性は、どのような意味を持つのか興味あることである。また、志知(1972)はこの現象について気象の長周期変化に伴う可能性は否定できないがとっている。そこで長野気象台における、年平均気温をそのままプロットしたのが、Fig. 7である、これによると、1959年後期から1960年の初めは、気温が上昇から下向に変わった時期である。この一例からは何んともいえないし、この気温変化が直接地殻変動に影響するとは考えにくいのが気温の約10年周期変動もこの時期に現われている。

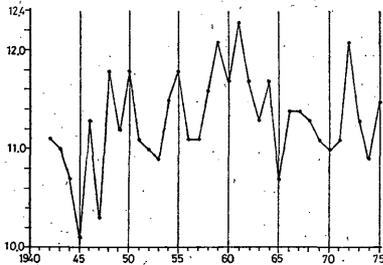


Fig. 7. Yearly mean temperature at Nagano Meteorological Observatory.

1964年9月に25m石英管伸縮計の観測を休止する約1年前からの南北、東西両成分が急激な伸びの傾向になっている。これは1965年8月から発生した、松代群発地震の前兆とみても、坪川(1969)のいう時期からして矛盾しないようだ。

1967年以降は松代群発地震回数の減少にともなって、両成分ともに縮みの方向で、その量も小さくなっている。最近松代群発地震の一連のものであろう、 $S-P$ 3秒以下の単発的におきる $M=3\sim 4$ の地震と、傾斜、伸縮との対応はみとめられない。

Strain Step については、気象庁技術報告(1968)に報告されているが、その後も数多くの観測があって、 S 相で Step していることが、はっきりした。しかし測器の機械的ガタを実験した結果等と別に報告する。

§5. 傾斜、伸縮の年変化

年変化の平均振幅は、Fig. 3, Fig. 4 から水平振子型

傾斜計で $15''$ 、水管傾斜計で $1.5''$ また Fig. 6 からシリカ伸縮計では 2×10^{-6} であった。

坑内気温が正弦波的な年変化を示すのに対し水平振子型傾斜計とシリカ伸縮計の1964年9月までの年変化の形は、上下非対称であった。

伸縮、気温それぞれの月平均値と、それにデジタルフィルター1をかけたものとの差をそれぞれ、 $\Delta \epsilon$ 、 ΔT とおくと、両者の間には大体次の関係があった。

$$\Delta \epsilon \propto A \log \Delta T$$

$$\text{すなわち、} \Delta T \propto e^{\frac{\Delta \epsilon}{A}}$$

ところで、岩石中に孔隙または小さな割れ目がある場合には、その岩石の、応力—ひずみ曲線は、低応力に対し上向きに凹の履歴曲線となり、ひずみ ϵ と応力 σ との間には近似的に

$$\sigma = A [\exp(k\epsilon) - 1]$$

の関係がある(ジェーカー, 1968)。

したがって坑内温度の変化に比例して坑壁にかかる力が変化し、それに対しひずみ量は、指数関数的に変化して、上下非対称な形になったと考えてよい。傾斜変化についても同様なことが考えられる。

シリカ傾斜計は基線長が短かいために局所的な変化を大きく記録し、冬期間には北北東上りの傾向を示した。

これに対して、基線長の長い水管傾斜計は、冬に西北西方向が上る傾向を示し、両者の傾動の方向は、ほぼ 90° 違っていた。

1965年以後は坑内の環境が整備されたので、年変化の振幅は水管傾斜計で、 $0.03''$ 、100m石英管伸縮計で、 4×10^{-7} 以下となり、それ以前のものよりかなり小さくなった。

§8. 降雨による、傾斜、伸縮変化

観測坑道は、横穴式で山の傾斜面が、 35 度から 40 度である。降雨による傾斜、伸縮変化については、Fig. 8 に一つの例を示した、この降雨と、それによる傾斜、伸縮変化のはじまりは、その時点での既往の降水履歴に関係するが、時間的に1日から2日位おくられて現われている。

また積雪による傾斜、伸縮については、1965年以後、当地で最も多い積雪が 30 cm であった。そのときの雪の荷重による変化は認められず、融雪水による変化が現れることから、雨水の浸透によって傾斜、伸縮変化が起こされるように考えられる。

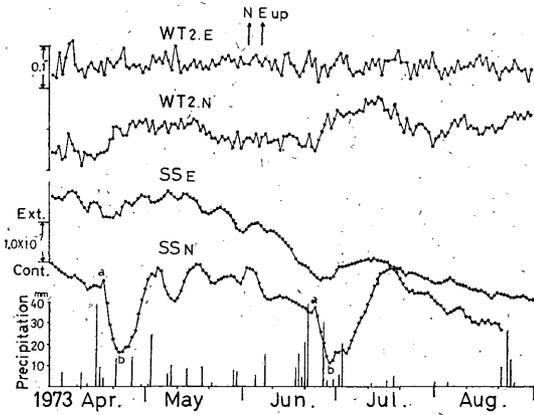


Fig. 8. An example of daily variation of ground strain with extensometers, tilt with water tube tiltmeter and amount of precipitation.

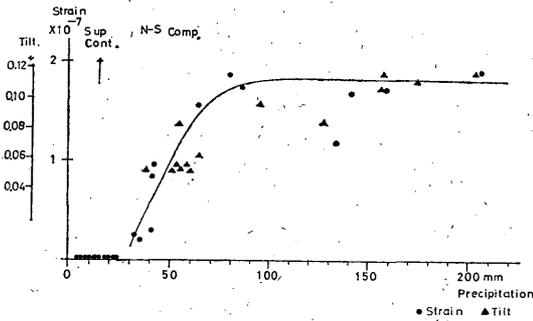


Fig. 9. Relation between change in strain, tilt and precipitation.

降雨と傾斜、伸縮変化の大きさの関係を、Fig. 9 に示す。降雨量は松代における日雨量（09時から翌日の09時まで）である。この図からわかるように、降雨が25mmに達するまでは、傾斜、伸縮変化は現われない。しかし降雨量約80mmまでは変化量は増し、80mmを超えて

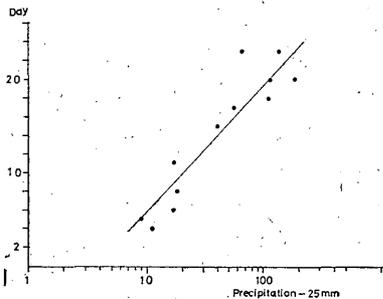


Fig. 10. Relation between precipitation and duration of anomalous strain changes.

も、その変化の大きさはそれ以上増大しない。そしてFig. 10 にみられるように降雨量が増すと、伸縮変化の現われる期間は長くなる。図中の日数は伸縮変化が現われはじめてから元に復するまでの日数である。

降雨が25mm以上ないと傾斜、伸縮変化が現われないことは、志知(1975)、石井、外(1973)のいうように、破碎帯や岩石の割目に浸透した間隙水圧によって、地殻ひずみがおこると考えれば、25mmが当地における、それに必要な限界値を示しているといえよう。

Fig. 8 に示すように、石英管伸縮計の南北成分に特に大きく伸縮変化が現われることから、坑道内の主な浸透水源を調査したところ、Fig. 11. の斜線部分約500m²

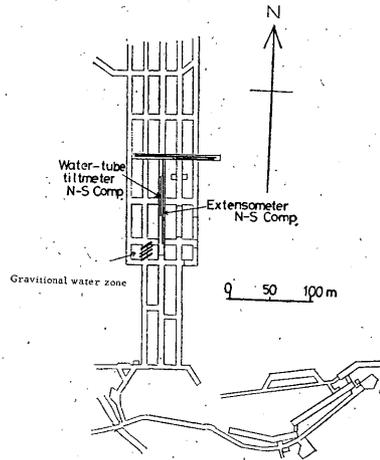


Fig. 11. Map of gravitational water zone.

に限ってよく雨水が浸透してくることがわかった。この場所は、坑道の掘削者の話から推察すると、1つの破碎帯(多孔質帯)のようである。その位置は石英管伸縮計、水管傾斜計の南北成分の南端から、南南西30m位のところである。降雨があると、まずこの部分に浸透し、その間隙水圧の増大のために石英管伸縮計の南北成分に縮みの変化が現われ、Fig. 8 の a、b 点となる。なおも降雨が続くと、破碎帯ばかりでなく、岩石中の孔隙または小さな割れ目にも雨水が浸透し、これらの間隙水圧の増大のために石英管伸縮計は、東西、南北両成分とも伸び、傾斜計は、南上りとなるものと考えられる。傾斜、伸縮とも、南北成分に比べて東西成分は、この変化がかなり少い。また伸縮変化に対して、傾斜変化は小さい。

降水量と浸透水との関係について、さらに詳しく調べるため、1974年10月から坑内で自記雨量計を利用して、湧出水量の観測をはじめた。さらに100m 石英管伸縮計

に何点かの距離について測点をつけることも必要である。しかし現在のところでは、Fig. 9, Fig. 10 から、永久変動と降雨による変化との分離をするほかない。

§7. ま と め

観測坑道内の工事や、松代群発地震のため連続出来ないところもあったが、松代地震観測所における、1949年から1975年までの傾斜、伸縮変化の観測値を整理し連続したデータを得た。その結果、傾斜観測では水平振子型傾斜計による観測値は、水管傾斜計の1.5~3倍拡大されているが、傾向は大體一致している。またベクトル図から両者の傾動の向きが異なるときに、 $S-P$ 3秒以内の有感地震が発生している。松代群発地震発生約3年前からもその傾向がみられた。

松代群発地震中1969年9月を頂点として、傾斜計では、東上りが南西上りになった。伸縮計でも同じ時期から、伸びから縮みになった。そのとき松代群発地震の震源域の中心地であった皆神山東方で、地割れ、地り、湧水があった。そのごは松代群発地震の消長と対応して、傾斜は、 $0.2''/\text{年}$ 南西上りを続けている。伸縮は南北成分で $4.8 \times 10^{-7}/\text{年}$ 、東西成分が年 $2.0 \times 10^{-7}/\text{年}$ で縮んでいる。

観測坑内に外気の流入を防いで、軸内気温の年変化がなくなった1965年からは、傾斜で $0.03''$ 、伸縮では 4×10^{-7} 以内の年変化となった。

降雨による浸透水のために、降雨から2日~3日後に傾斜、伸縮変化が現われ、坑内に浸透してくる場所が、伸縮計、水管傾斜計の南北成分の南端に近いため、それぞれ南北成分に大きく現われ、最大で伸縮変化が 1.8×10^{-7} 、傾斜変化は $0.11''$ の変化が現われる。しかし降雨量が80mmを超えると、その大きさは変わらないが、降雨が増すと伸縮変化の現われている期間は指数関数的に増

大してくる。これは間隙水圧の影響と考えられる。

最後に地震観測所創設時からの資料を整理するにあたり御助力をいただいた、地震観測所職員の皆様にお礼を申し上げます。なお論文を読んで有益な助言を下さった、正務章前所長に心から感謝いたします。

参 考 文 献

- Arakawa, Y., and S. Suyehiro (1970): Regional Seismicity before the Matushiro Earthquake Swarm, *Papers Met. Geophys.*, **21**, 33~44.
- 飯田汲事, 志知龍一, 松浦 宏 (1969): 大山における地殻変動の連続観測, *測地学会誌* **14**, No. 4, 150~154.
- Ichikawa, M. (1969): Matushiro Earthquake Swarm, *Geophys. Mag.* **34**, No. 3, 307~331.
- 石井 紘, 佐藤俊也, 立花憲司 (1973): 秋田地殻変動観測所における地殻変動観測 (2), *測地学会誌*, **19**, No. 3, 135~144.
- J. C ジェーカー著 (飯田汲事訳) (1968): 弾性, 破壊, 流動論, 共立全書, 158~159.
- 春日 功 (1967): 松代地震における加賀井温泉の変化, *地学雑誌* **76**, No. 2, 18~86.
- 気象庁 (1968): 松代群発地震技術報告, *気象庁技術報告*, **62**.
- 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 (1), *地震*, **25**, 243~253.
- 志知龍一 (1973): 地殻変動連続観測, 研究の進展と改善の方向 地震予知シンポジウム (1972年12月12日) 26~34.
- 志知龍一 (1973): 長周期地殻変動, *測地学会誌*, **19**, No. 4, 213~224.
- 志知龍一 (1975): 地殻変動の同時類似性, *地震学会予稿集*, No. 2.
- 田中 豊 (1973): 地殻変動連続観測, 長期変動と地震前駆変動, 地震予知シンポジウム (1972年12月12日), 35~44.
- 坪川家恒, 岡田 惇, 田島広一, 村田一郎, 長沢 工, 井筒屋貞勝, 伊藤 裕, (1967): 松代地震にともなう水準測量, *地震研究所彙報*, **45**, 265~288.
- 坪川家恒 (1969): 地殻変動の継続期間と地震の規模との関係, *測地学会誌*, **15**, No. 2, 3, 76~88.
- 山田重平 (1973): 水管傾斜計によって観測された地殻変動, *地震研究所研究速報*, **10**, 1~147.
- Wyss M. and D. J. Holcomb (1973): Earthquake Prediction Based on Station Residuals, *Nature*, **245**, No. 5421, 139~140.