

松代における埋込式ひずみ計の観測について (第1報)

(外気温度の影響)

550. 43

泉 末 雄**

On the Earth Strain by Bore-Hole Strainmeter Measured at the Matsushiro Seismological Observatory

(First paper: Effects Caused by Air Temperature)

S. Izumi

(Seismological Observatory, J. M. A.)

Borehole strain seismometer net of Matsushiro Seismological Observatory consists of three observation points, that is; two points placed at the observatory only 300 meters apart, and the third one is at Nagano, 15 km away from Matsushiro.

Data from three points are visibly recorded on the same chart of analogue recorder.

In this investigation, we can see that the present amplifier and cable system of the borehole strain seismometers are effected by air temperature in comparison with 100 meter strain seismometer. Precisely, the three records show extension with rising temperature and converse for dropping, and temperature-coefficient derived from the observations is $1.03 \times 10^{-8}/^{\circ}\text{C}$ in strain.

It seems that disturbances above mentioned are due to the combination of long cable and amplifier, but the 4 KC oscillator and amplifier are not effected by air temperature.

In the future, it will need to separate the cables of DT and Bm from the cable of 4 KC oscillator, to select the cable, and further to construct oscillator and demodulator into the senser of instrument, etc.

§ 1. はじめに

気象庁が東海、南関東地方に展開、観測している埋込式ひずみ計は、その観測網の展開にさきだって、地震観測所と気象研究所との共同研究に使用した Sacks-Evertson 型ひずみ計の研究観測の結果が観測網で使用している器械の原型となったものである。この埋込式ひずみ計は、松代地震観測所構内に 300 m 離して 2 本 (No. 1, No. 2)、さらに 15 km 離れた長野市大峰山の、東京大学地震研究所北信微小地震観測所の観測坑付近に 1 本設置してある。長野の観測はテレメーターにより地震観測所庁舎内で同時に可視記録されている。

埋込式ひずみ計は従来の石英管およびスーパーインパネルを用いたひずみ計に比較して、(1)地震の際の Strain Step についての信頼性が高い、(2)設置場所が狭く経費も少なくてすむ、(3)遠隔測定が容易など、すぐれた特質をもっている。

この埋込式ひずみ計の原理、性能および永年変化に対する応答などについては、すでに調査、研究されている [Sacks, Suyehiro et al (1971), 気象庁地震課 (1976)]。しかし、温度による影響、地震に対する応答などはまだ十分解明されていない点もある。

今回は、現在、松代で観測を行なっている器械の、外気温度による影響についての調査結果を報告する。

§ 2. 器械の説明

埋込式ひずみ計のブロックダイアグラムを Fig. 1 に

* Received Feb. 25, 1977

** 気象庁地震観測所

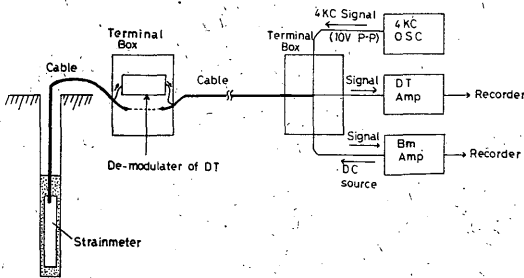


Fig. 1. Block diagram of borehole strainmeter installed in Matsushiro.

示す。このひずみ計は、シリコン油を満したステンレス製のパイプを、埋込んだ部分の岩石に特殊なセメントで密着させ、周囲の岩石と一体化してある。電気変換部には、長周期の変動に対しては差動トランスを用い（以下DTと呼ぶ）、短周期の変動に対してはピエゾ素子を用いている（以下Bmと呼ぶ）。4KC OSCは、差動トランスの一次側に電流を供給する発振器である。Terminal Boxは図中に示したいくつかのパーツからの信号線を一本のケーブルにまとめるためのものである。Terminal Box間を結ぶケーブルは極めて長く、一番短い長野で約50m、松代のは約120mと約100mである。周波数特性は、DTが直流から1秒まで、Bmは約1秒から20分の範囲でフラットであり、感度は、DTが $20 \times 10^{-9}/\text{mm}$ 、Bmが $1.2 \times 10^{-10}/\text{mm}$ である。

石英管式ひずみ計のブロックダイアグラムを Fig. 2 に、周波数応答を Fig. 3 に示す (山岸ほか, 1976)。図中に示した L・P・F は、長周期変動を対象とした測定系で、直流から約 200 秒の範囲でフラットであり、B・P・F は短周期の変動、特に地震波などを対象とした測定系で、約 0.2 秒から約 1000 秒の範囲でフラットの性能をもっている。記録上の感度は L・P・F が $2 \times 10^{-9}/\text{mm}$ 、B・P・F が $5 \times 10^{-10}/\text{mm}$ で与えられる。

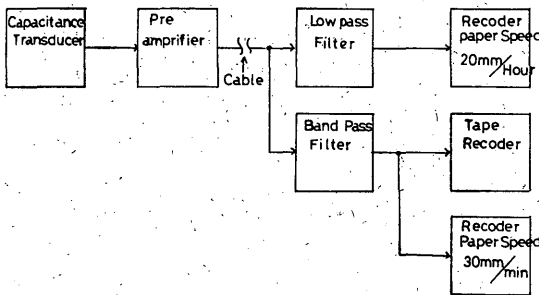


Fig. 2. Block diagram of 100 meter strain seismometer.

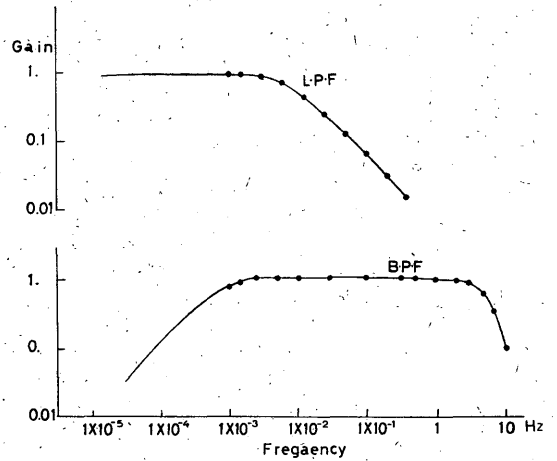


Fig. 3. Response curves of 100 meter strain seismometer.

感度更正是、碰歪による石英管の移動量をレーザーによって校正してある。

§ 3. 調 査

(i) 石英管式ひずみ計と埋込式ひずみ計との比較

Fig. 4 は、1976 年 1 月～6 月の埋込式ひずみ計(左)および石英管式ひずみ計(右)の観測結果を示したもので、プロットしてある値は、毎日の00時と12時との平均値を用いた。図からわかるように、No. 1 および No. 2 はともに1月から6月まで漸増傾向を示し、その変化量は No. 1 で 5×10^{-7} 、No. 2 で 3×10^{-7} となる。同図の右に示した石英管式ひずみ計(SS)の変化は、埋込式ひずみ計に見られるような漸増傾向が現われず、一時的

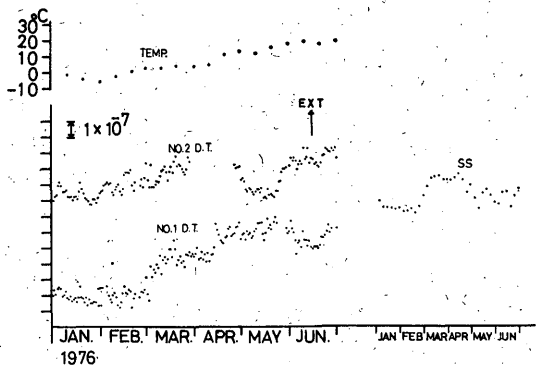


Fig. 4. Results of crustal movements derived from borehole strainmeter (left) and 100 meter strain seismometer (right) from January to June, 1976.

な変動が目立っており、これは雨水の浸透が原因となっているように考えられる (山岸ほか, 1976)。石英管式ひずみ計の変化量は、 2×10^{-7} 程度で、No. 1, No. 2の埋込式ひずみ計の平均値に比較して約半分しかない。

なお、石英管式ひずみ計の値は、南北成分と東西成分との値を合成したもので面積ひずみに相当したものである。一方、埋込式ひずみ計で測られるひずみは、センサーが体積ひずみに敏感な応答をもっていても、現在設置されているような地表面に近い所では、上下方向のひずみに対し、一方向に自由表面があるものとして取りあつかわなければならない。従って、観測される結果は面積

ひずみに近いとみなす方が妥当と思われる。

しかし、石英管式ひずみ計と埋込式ひずみ計の結果を比較すると、埋込式ひずみ計の変化量は大きすぎるように思われる。図中の文字 Temp は、当所の気象観測で得られた9時の外気温度の旬平均値を意味し、埋込式ひずみ計の変化の傾向は、この温度変化に似ている。

(ii) 外気温度がおよぼす影響について

Fig. 5~8 は任意の期間を抽出し、外気温度の変化に対する埋込式ひずみ計の変化を調べるために示したもので、外気温の日変化は特にDTの変化と相関があり、月日がたつにつれてこの傾向が顕著に現われているのが見

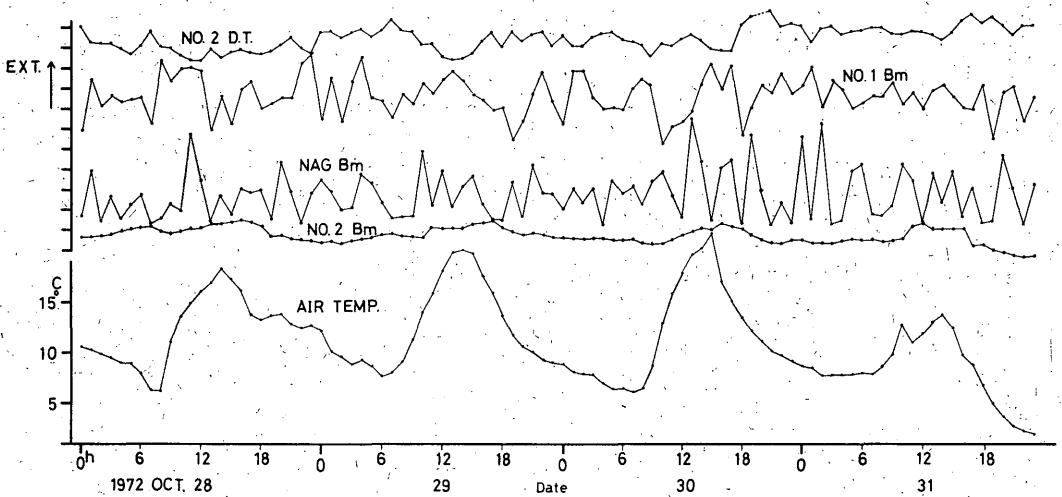


Fig. 5. Comparisons between short-term variations in borehole strainmeter and air temperature.

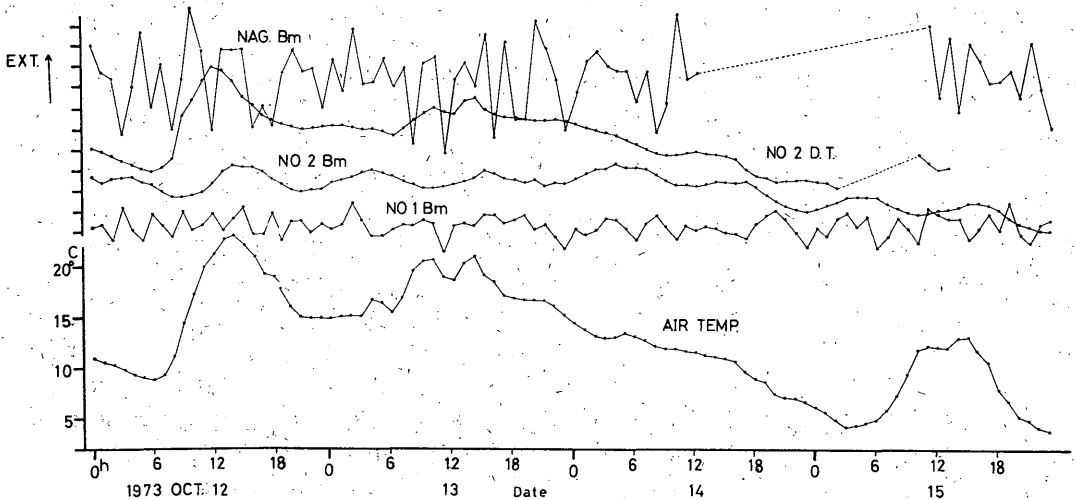


Fig. 6. Comparisons between short-term variations in borehole strainmeter and air temperature.

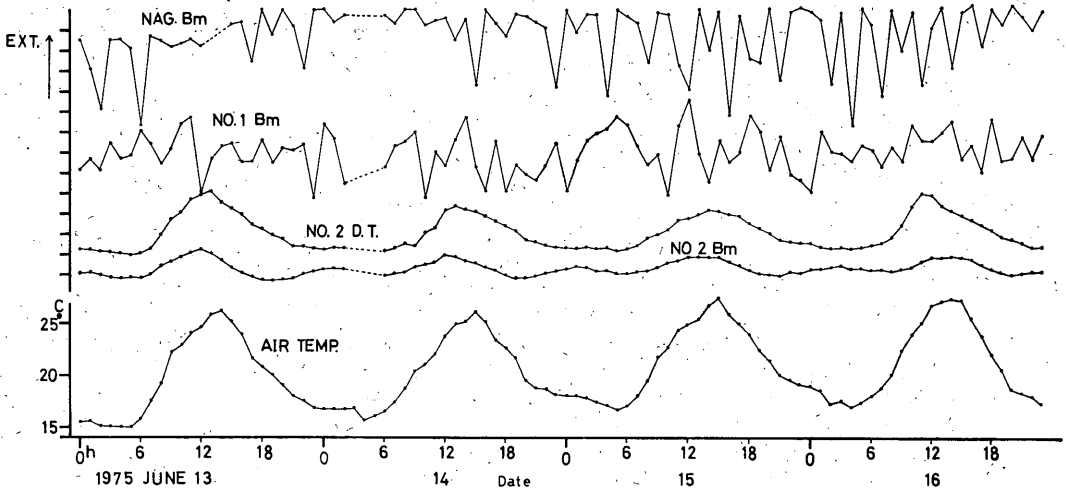


Fig. 7. Comparisons between short-term variations in borehole strainmeter and air temperature.

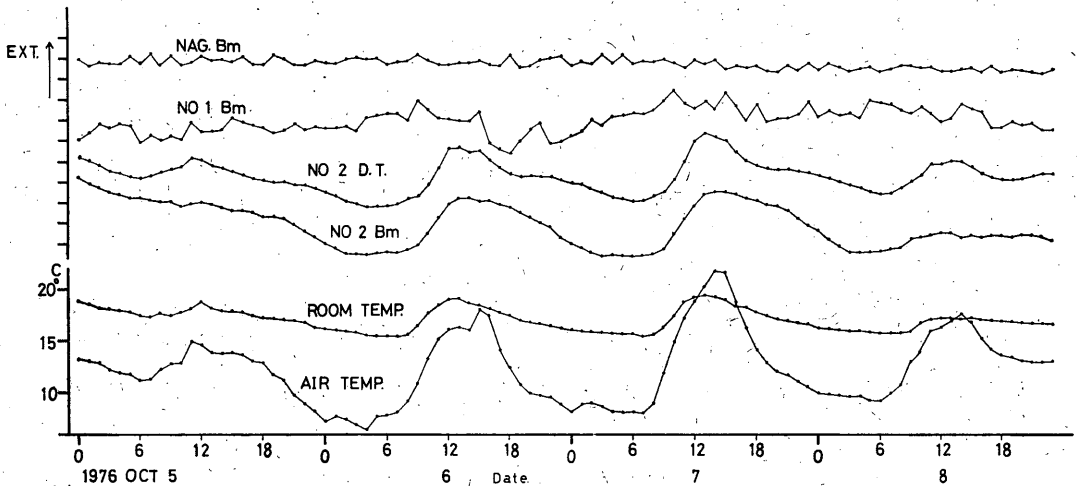


Fig. 8. Comparisons between short-term variations in borehole strainmeter and air temperature.

られる。この影響の原因が 4 KC OSC にあるかとも考え、4 KC OSC および増幅器を格納する恒温箱内の温度を $29\text{C} \pm 1\text{C}$ にしてみたが、これによる影響はほとんど見られなかった。

Fig. 9 は外気温度との関係さをさらに見やすくするため、埋込式ひずみ計 (No. 2 DT) の変化量を、外気温度とほぼ同じスケールになるようにして示したもので、上部に掲げた Bm および石英管式ひずみ計の変化も全く同じ操作を行った。図から、DT の変化と外気温度の相関が非常によいことがわかる。外気温度と DT の変化が逆センスになっている所は、石英管式ひずみ計の変化 (SS) と対比すれば Earth Tide によることが知れる。ここに示

した期間中は、4 KC OSC および増幅器などを納めてある恒温箱内の温度変化がほぼ 1C 以内で安定するように調整がほどこされている。従って、上のような傾向を生ずる原因は、4 KC OSC および増幅器でないことは明らかである。また、数日間、センサー側の Terminal Box の内側と外側に発泡スチロールの覆いをし、矢印の日時にこれを取除いたが、図に見られるようにその影響はほとんど現われていない。Bm の外気温度による変化は DT ほど明瞭な相関はないが、6 日以降は温度の影響を受けているようにも見える。

つぎに、Bm と外気温度との関係をさらに詳しく調べるために行なった実験観測の結果を Fig. 10 に示した。

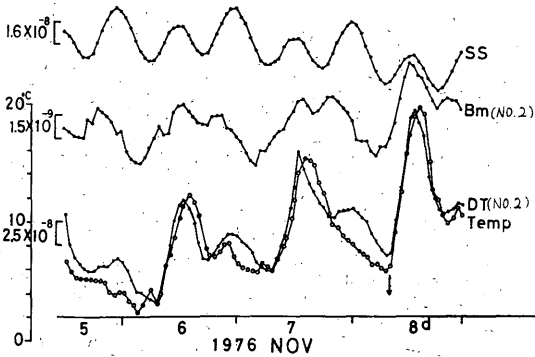


Fig. 9. Detailed strain behaviours of SS, Bm and DT for changes in air temperature observed at Matsushiro.

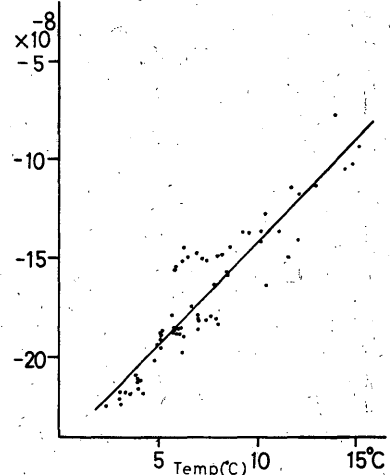


Fig. 11. Relationship between temperature and strain obtained from borehole strainmeter and 100 m strain seismometer.

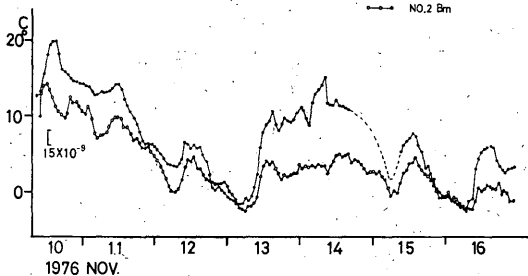


Fig. 10. Comparison between Bm and changes of air temperature.

DTの信号がBmの信号線に漏れし、DTの信号の変化がBmに表われることも考えられるので、DTの発振器の出力端子をはずして観測を行ったもので、量は少ないものの、温度による影響がいくらか認められる。この原因については、今のところわかっていない。

温度とひずみ量の関係をFig. 11に示す。縦軸はEarth Tideやセキュラーな変動を取り除くために、DTの値から石英管式ひずみ計の値を引いたもので、横軸は外気温度をとってある。図から係数を求めると $1.03 \times 10^{-8}/^{\circ}\text{C}$ となる。この係数は温度の影響を取り除くための補正值とみなせるから、No. 2 DTに補正をほどこすと、Fig. 12のDT-Tようになる。石英管式ひずみ計の変化を基準として比較すると、完全な一致はみられないが、かなり良い対応を示していることがわかり、特に振幅については、ほぼ同じ値になっている。

(iii) 地球潮汐の周期分析

埋込式ひずみ計で観測したEarth TideをFig. 13に示す。No. 1 DT, No. 2 DTは1976年1月～3月、石英管式ひずみ計およびNo. 2 Bmは1976年9月～10月のデータを、それぞれフーリエ解析した。用いた資料の時期

及び期間に相違があるため厳密な事はいえないが、DTと石英管式ひずみ計の結果を比較すると、(1)埋込式ひずみ計の S_2 (主太陽半日周潮)および K_1 (日月合成日周潮)に相当する振幅が非常に大きいこと、(2) M_2 (主太陰半日周潮)と S_2 に相当する振幅の大きさの対応が、石英管式ひずみ計の場合とそれぞれ反対になっている、(3) M_2 に相当する振幅は、三つともほぼ同じ値になっている等が特徴的である。これらの結果から埋込式ひずみ計の K_1, S_2 に相当する大きな振幅はEarth Tideではなく、外気温度の影響によるものと推測される。No. 1とNo. 2を比較するとNo. 1の方が相対的に振幅が大きいからNo. 1の方が温度による影響を大きく受けていることを示し、Fig. 4に示した1976年前半の変化の傾向とも良く符合する。またNo. 1およびNo. 2のDTに現われている8時間周期は、石英管式ひずみ計にはまったく見られないことから、多分、日射による急激な温度変化の影響と考えられる。Bmでは K_1 に相当する振幅が石英管式ひずみ計の値より大きくており、これも温度の影響によるものと思われる。しかし、概観すれば、温度の影響のすくない石英管式ひずみ計に比較的よい対応を示している。

§ 4. 考察およびまとめ

外気温度による影響について、今回の調査でわかったことは、つぎのとおりである。

(1) 埋込式ひずみ計のDTおよびBmの測定系はと

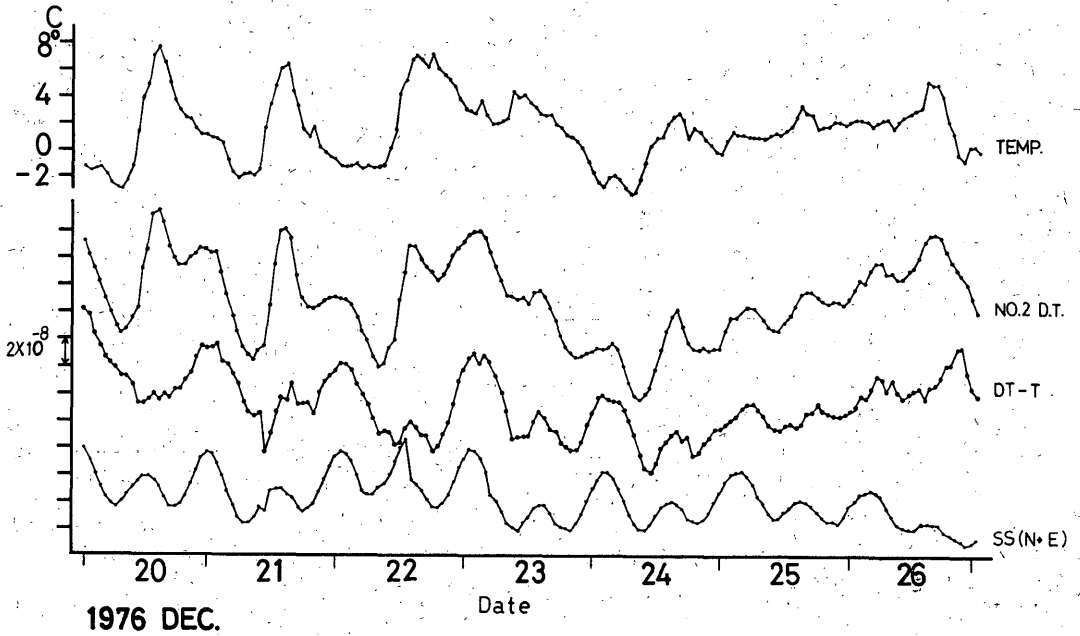


Fig. 12. Relationship between daily variations in temperature and strain obtained from borehole strainmeter. The strain was corrected by the temperature coefficient.

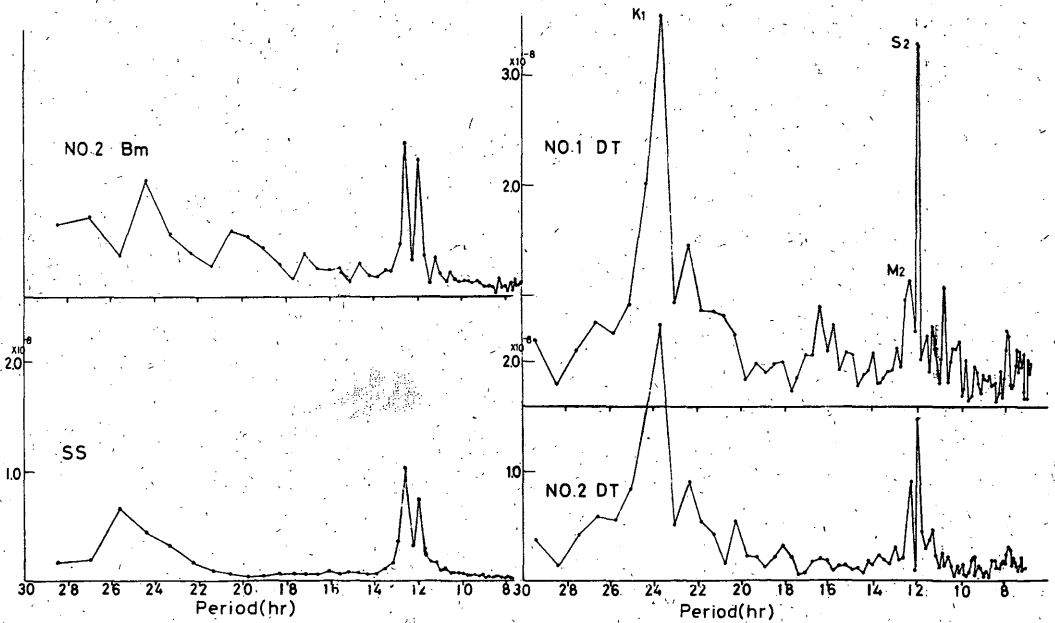


Fig. 13. Spectra of earth tides obtained by borehole and 100 meter strainmeters.

もに温度による影響を受け、特に DT では変動の傾向は外気温度と非常に相関を示す。すなわち、温度の上昇には膨張、温度の下降には縮みのセンスとなる。

(2) 4 KC の発振器、増幅器および DT の復調器などが、温度の影響を受けているとは考えられない。

(3) 温度の影響は No. 1 が最も大きく、ついで No. 2、長野の順に小さくなっている。

上記のことから、外気温度の影響の受け易い部分としては、センサーから観測室までのケーブルか、又はセンサー部が考えられる。経験によれば、外気温度の変化にかなり早い応答を示し、ひずみ計の記録に影響を及ぼすのは、センサー部分に原因がないことは明らかである。もしセンサー部によるものであれば、岩石のひずみそのものに、原因を求めなくてはならない。もちろん 50 m 地下の岩石でも地上の温度、気圧、あるいは地表の水分などの変化による影響を受けることは有り得ようが、ここでの調査に見られたような、比較的早い応答からは考えにくい。

センサーと観測室を結んでいるケーブルは、10芯の市内対ケーブルで、Bm、DT の対線、DT を駆動させる 4 KC の供給信号の対線が入っている。4 KC の駆動電流および差動トランスの出力信号は、ケーブルの直流抵抗および静電容量の温度によって影響を受けるはずである。一般に差動トランスの出力は、トランスの一次側に供給される電流値と、その周波数に比例するから、駆動電流の変化はそのまま出力の変化をもたらす。ケーブルの直流抵抗は温度の上昇で増加し、その影響は約 $0.4\%/^{\circ}\text{C}$ である (軟銅線)。この値は、差動トランスの一次側のインピーダンスが 50Ω であること、ケーブルの直流抵抗が約 10Ω (No. 2) であることを考えるとかなり大きな値である。一方、ケーブルの静電容量は、対線間に影響を与えるのみでなく、Bm、DT および 4 KC 信号線の相互間に干渉を起こさせる。これらの影響の割合はケーブルの温度変化によって変化する。一般市内ケーブルの静電容量は約 $60\text{PF}/\text{m}$ あり、この値は 20°C の温度変化により約 10% 変化するだろうといわれている。これらの事から、測定系に生ずる温度変化は、ケーブルの静電容量が変動することに原因がある可能性が強い。これを裏付けるものとして、温度の影響が、No. 1 (約 120 m)、No. 2 (約 100 m)、長野 (約 50 m) の順に少なくなることもケーブルの長短によるものと考えれば理解

しやすい。

今後、外気温度の影響を少なくするためには、

(1) DT および Bm の信号線を 4 KC 信号線と分離する。

(2) ケーブルに静電容量および直流抵抗の少ないものを使用する。

(3) 4 KC の発振器および復調器および復調器をセンサー部に組み込む。

さらに、今回十分な調査ができなかったが、地盤のひずみに対する気象要素による影響などについても、調査の必要がある。

今回の調査から得られるように、現在の松代の埋込式ひずみ計に、外気温度が及ぼす影響はかなり大きいことがわかった。したがって今日まで得られた資料から、長周期の変動についての解析を行なう場合には、この点に注意する必要がある。とくに Earth Tide のように、外気温とほぼ等しい周期をもつ現象の場合には、解析結果を十分吟味、検討する必要がある。

気象庁が、現在東海、南関東地方に展開し、観測している埋込式ひずみ計は、この調査で用いたものと原理的には全く同じ測器であるが、問題となるケーブルの地上部分を短くするため、観測井の直上に増幅器を置いたり、DT の増幅器を電流検出型にする等、その後いくつかの改良が加えられており、今回の調査がそのままあてはまるものではない。

本論文をまとめるにあたり、御指導、御助力をいただいた、江田所長、末広観測部参事官、柏原静雄、浜田信生、山岸登、北村良江、竹山一郎の各技官をはじめ、地震課地震調査係、気象研究所地震火山研究部の方々深く感謝いたします。

参考文献

- Sacks S, S: Suyehiro, D. W. Evertson and Y. Yamagishi (1971): Sacks-Evertson Strainmeter, Its Installation in Japan and Some Preliminary Results Concerning Strain Steps, Papers in Meteorology and Geophysics 22, 195—208.
- 気象庁地震課 (1976): 松代における歪の永年変化と東海地方 5ヶ所の埋込式歪計の観測結果, 地震予知連絡会報, 16, 124—125.
- 山岸要吉・泉末雄・相原奎二 (1976): 松代における地殻変動の連続観測について, 駿震時報, 41, 13—20.