

差動トランス型水管傾斜計の試作

加藤 正明・津嶋 吉男

A WATER TUBE TILTMETER OF DIFFERENTIAL TRANSFORMER TYPE

By *Masaaki KATO* and *Yoshio TSUSHIMA*

Synopsis

For the continuous observation of the secular variation of ground tilt, a water tube tiltmeter has been used at each crustal movement observatory in Japan. This instrument is very reliable, but there are many difficulties to record the level variation of water surface. Therefore, the method of visual reading with micrometer has been adopted traditionally.

To realize an automatically recording system, a water tube tiltmeter of differential transformer type was designed and set at the adit of the Hokuriku microearthquake observatory. In this paper, the observing system of this instrument is mainly described.

1. ま え が き

土地の傾斜変動を連続的に観測する計器としては、従来水平振子型傾斜計が用いられているが、この計器は感度を高くすると機械的な不安定さが増してくるという欠点を持っている¹⁾。また、光学記録方式によっているため遠隔記録方式の採用が困難である。これらの点を解決するために、可変容量型や差動トランス型の傾斜計が開発されてきているが、局所的な土地の動きしか測定できないという点では水平振子型傾斜計と変わらない^{2),3),4)}。これを補うものとして、より広範囲の土地の変動を観測するために、10数 m ないし数10 m の span を持つ水管傾斜計による観測が行なわれてきたが、他の地殻変動観測計器の場合に比べ自動化が困難であったためマイクロメーター読取式のものほとんどであった⁵⁾。そのため、観測者には定時の入坑観測という負担がかかっており、自動化が緊急の課題になっている。水管傾斜計に期待されている役割の1つに水準測量におけるある時点での測量から次の測量までの間の不連続をカバーするということがあるが、水管ならびに測量から得られた変動量がよい対応を示しているという成果が松代をはじめとしてすでいくつか発表されている⁶⁾。

光学記録方式による自動化はかなり以前より試みられているが、遠隔記録できないのが難点である^{7),8),9)}。電気的記録方式による自動化は、すでに、東大、東北大などで差動トランス方式により試みられているが、今回試作した水管傾斜計も同じくトランスデューサーに差動トランスを用いた type のものである¹⁰⁾。

2. 原 理

2つあるいはそれ以上の容器が管でつながっていると各々の容器の水面は1つの等 potential 面を形成する。土地が変動し各々の容器の水位が変動したとすると、任意の2つの容器の変動量の差をとれば、容器間の相対的昇降差すなわち平均傾斜変化量が求まる。

3. マイクロメーター読取式水管傾斜計

差動トランス方式水管傾斜計を試作するにあたっては、従来私共の研究室関係の地殻変動観測室で行なわ

れてきたマイクロメーター読取方式の水質傾斜計の観測結果を考慮した。Fig. 1 は由良と須坂における観測結果である。両観測室ともマイクロメーターの針を上から水面へ下ろして読みとる方式をとっている。由良の計器では水管に内径 22mm の透明硬質塩化ビニルパイプを用いている。両 pot は軟質塩化ビニールチ

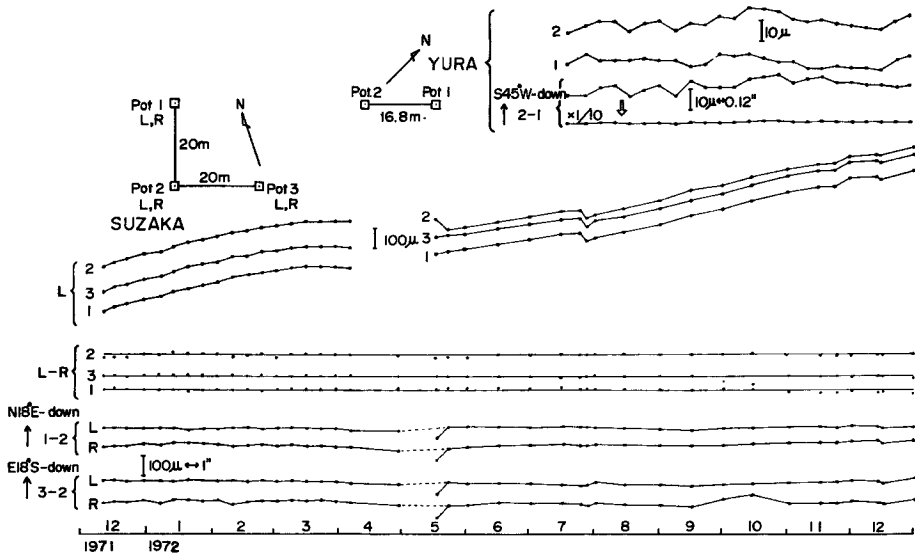


Fig. 1 Data of water tube tiltmeters at two observation stations, Yura and Suzaka.

ューブで接続され完全に気密が保たれている。そのため、水位の drift は少ない。両 pot の差をとって求めた傾斜変化 (2-1) は 5 か月間に $0.1''$ 程度であり、同じ観測室に設置してある水平振子型傾斜計で観測された傾斜変化量に較べるとはるかに小さい量である。須坂の計器では水管に内径 19mm の軟質塩化ビニルチューブを用いている。air tube は取付けていないので気密は保たれていない。ここでは水位の drift が著しく、1 月あたり $40\sim 80\mu$ の水位低下が見られる。3 つの pot にはそれぞれ 2 個ずつマイクロメーターが取付けてある。水位が変動しても、2 個のマイクロメーターの読取値の差は理想的には一定の値をとるはずであるが、針先と水面との接触状態が時間的に変化するため、実際には約 1 年を通じてみると各 pot の右と左のマイクロメーターの読取値の差 (L-R) に $\pm 10\mu$ 程度のバラツキが見られる。しかし (L-R) が drift するようなことはないので、読取誤差が積算されて傾斜水年変化量に影響を与えることは考えられない。由良の場合と同じように、約 1 年を通じて変化量は水平振子型傾斜計に比べて非常に小さい。

両観測室の観測の経験より、今回の試作にあたっては水管には内径 16mm の透明硬質塩化ビニルパイプを使い、air tube で pot 間を接続し密閉することにし、また、pot は 1 か所に 2 個併設し、1 方は差動トランス用、もう一方はマイクロメーター 2 本による読取用とし電気的記録をこれらによりチェックできるようにした。

4. 検出部の構造

Fig. 2 に検出部の設計図を示す。コンクリート台上に固定した 45 cm 角の鉄板上にマイクロメーター読取用 pot と差動トランス用 pot がある。両者は水管ならびに air tube でつながっているが、この図では省略してある。フロートの水平方向への移動を防ぐために厚さ 50μ 巾 3 mm のステンレス板バネ 2 枚を用いている。フロートに固定した差動トランスの core が coil の中を上下に変位すると、それに比例して差動トランス 2 次側の出力電圧が変化する。板バネの復元力ならびに差動トランスの吸引力の影響のため水位の変化

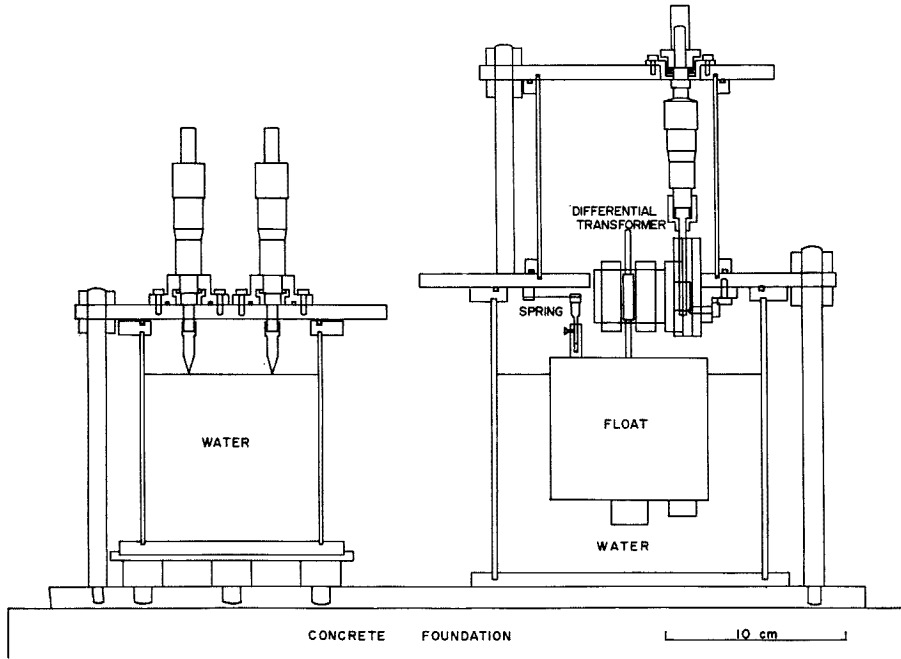


Fig. 2 Detector of water tube tiltmeter.

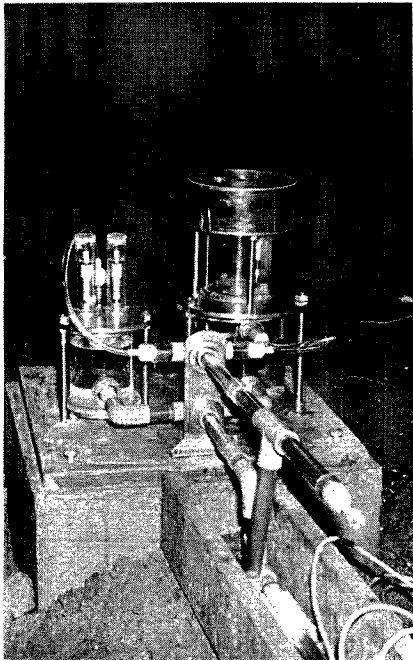


Photo. 1 Recording pots at the station, WT1.
Right: for electrical recording
Left: for visual reading

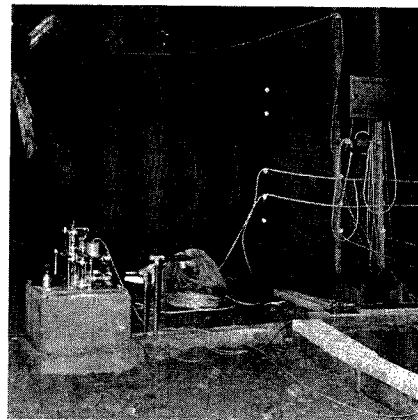


Photo. 2 Distant view of water tube tiltmeter.

量がそのまま core の変位にはならないが、ともに上下の変位に対しては linear に作用するので問題にはならない。Photo. 1 に検出部を示す。

5. 液面ならびにフロートの運動

今回試作した水管傾斜計では 1 カ所に 2 つの pot が併設されているが、これを 1 つの pot と考えその断面積を A とする。(この場合、2 つの pot の間の短周期の減衰振動の発生は無視する。) 断面積 A の容量 2 個が半径 a 長さ l の水管で連結しているものとする。水位の変化を h 、水の密度を ρ 、粘性係数を μ 、重力加速度を g とし、ある種の仮定をおけば次式が成立する。この問題はすでに何人かの人によって論じられてきているので、運動方程式の誘導については省略する^{5), 7), 9)}。

$$\frac{d^2h}{dt^2} + 2\beta\omega_0 \frac{dh}{dt} + \omega_0^2 h = 0$$

$$\text{但し } \frac{8\pi\eta}{\rho a} = 2\beta\omega_0, \frac{2ga}{Al} = \omega_0^2$$

減衰振動する場合 ($\beta < 1$) の周期は $T = 2\pi/\omega_0\sqrt{1-\beta^2}$ で与えられる。

仮に、 $l=2000$ cm, $a=0.8$ cm, $A=240$ cm² とすると、 $\beta=0.9$, $T=160$ sec 程度になり、 $t=0$ で初期条件 $dh/dt=0$, $h=h_0$ を与えてやると 100 sec 後には h_0 は 1/1000 以下になってしまう。2 個以上の pot がある場合の各 pot の動特性は極めて複雑になるが、1 つの pot に mass を投入してやり全 pot が十分平衡に達するまでの時間を実験的に求めておけば、それより長い周期の変動に対しては、水位の変動がそのまま土地の変動を現わしていることになる。

フロート自身の振動周期は、フロートの質量を M 、断面積を S とすれば $T=2\pi\sqrt{M/\rho g S}$ で与えられ、約

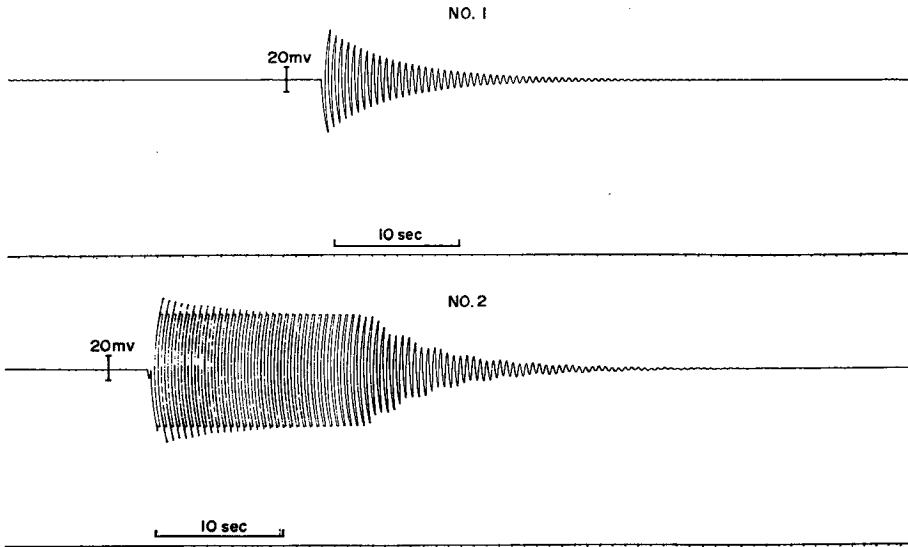


Fig. 3 Record of vibration test of float.

0.5sec となるが実験結果 Fig. 3 とよく一致する。No. 1 は core に軽くふれた場合、No. 2 は数 mm の変位を与える程度に強く押した場合の振動特性であるが振動前後での不連続はまったく見られない。Fig. 4 は実験室で水が蒸発するにつれて差動トランスの出力電圧が変化してゆくの記録した例である。フロートが水位の変化につれてなめらかに動作していることがよくわかる。

6. 全体の構成

6.1 ブロックダイアグラム

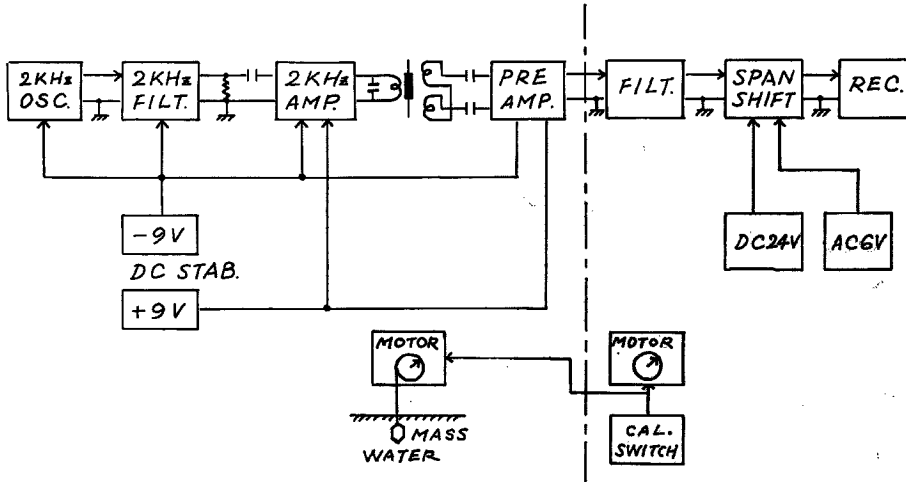


Fig. 5 Observation system of water tube tiltmeter.

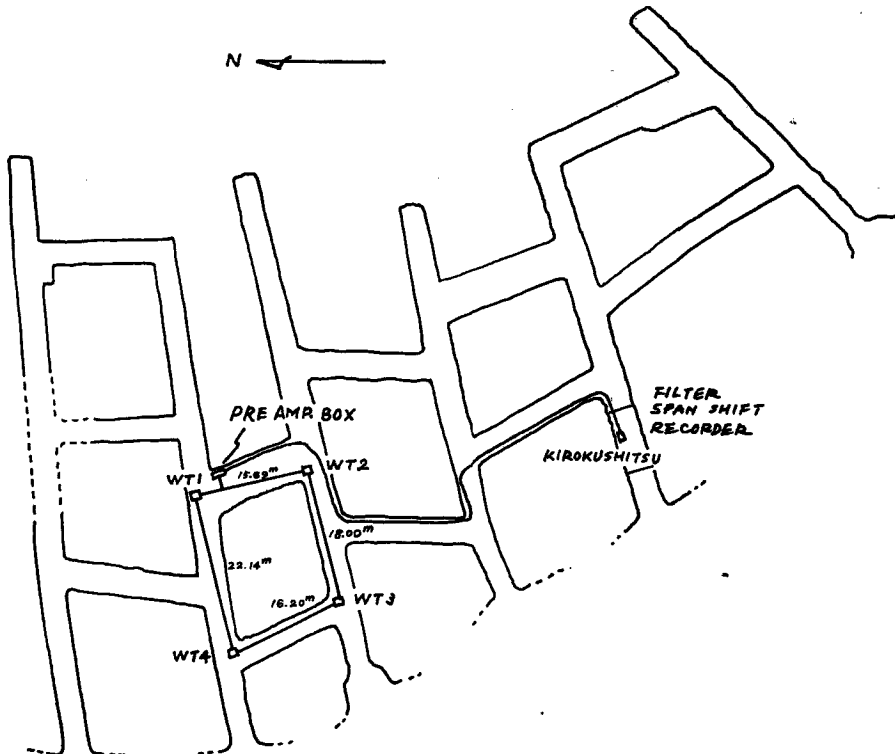


Fig. 6 Arrangement of observation system in the adit of the Hokuriku microearthquake observatory.

Fig. 5 に観測システムのブロックダイアグラムを示す。鎖線の左側が坑内に配置される部分であり、右側が記録室内に配置される部分である。Fig. 6 は試作した水管傾斜計を設置した北陸微小地震観測所の観測坑であり、ここでは微小地震と地殻変動の総合的観測が行なわれている。¹¹⁾

Photo. 2 は坑内 WT1 と pre amp. box 付近であり、Photo. 4 は pre amp. box の内部である。Photo. 3 は記録室の内部である。1 番右側が水管傾斜計の関係で、上段がスパンシフト、中段がレコーダー、下段がフィルターである。

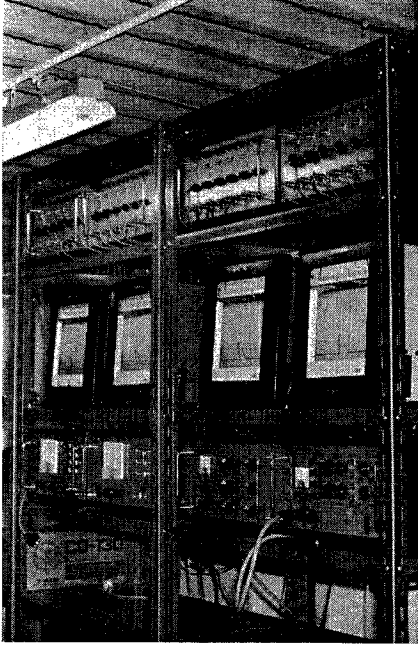


Photo. 3 Recording system.

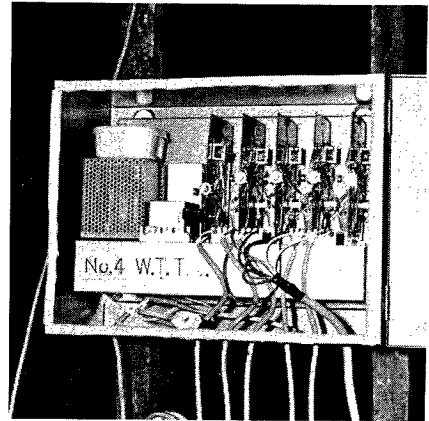


Photo. 4 Pre amp. box for four components, including AGC amp.

6.2 1次側入力

Fig. 7 に差動トランスの1次側入力用の AGC amp., 2次側出力増幅検波用の pre amp. ならびに filter の回路図を示す。Photo. 4 の box 内の1番左側に 9V 直流電源 2 個が見える。これらは水晶発振器ならびにアダプターとリニア IC の電源として用いられている。電源の右側に 2 個見えるのは、手前がアダプター、奥が 2KHz 水晶発振器である。2KHz 水晶発振器の矩形波をアダプターで正弦波にしてやる。これをリニア IC で増幅した後差動トランスの1次側に入れてやる。Photo. 4 の 5 枚のプリント基板の中で1番左に見えるのが AGC amp. 基板である。

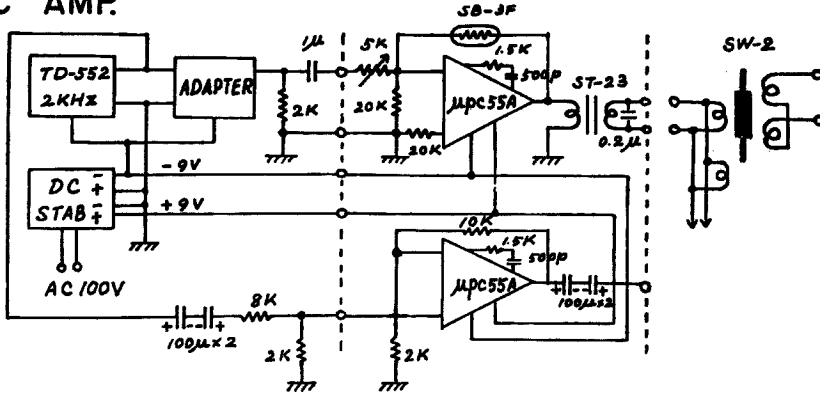
6.3 2次側出力の増幅と位相検波

差動トランスの2次側出力は pre amp. で増幅・位相検波される。Photo. 4 の残り 4 枚はそれぞれ WT1, WT2, WT3, WT4 用のプリント基板である。

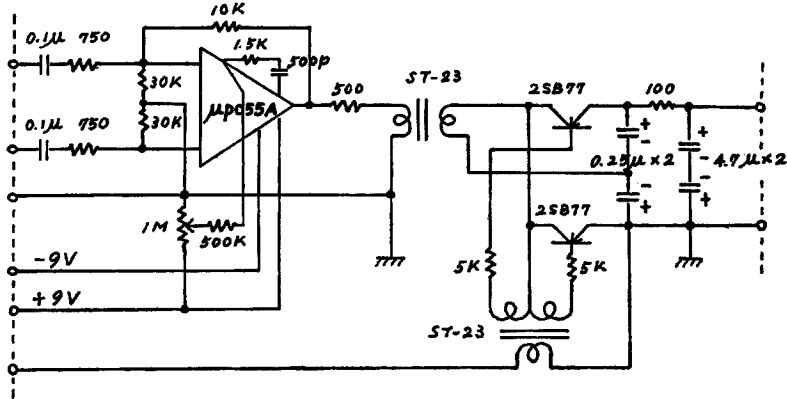
6.4 フィルターならびにスパンシフト

pre amp. の直流出力はケーブルで記録室まで送られ、フィルターに入る。Fig. 8 は坑内 4 カ所に配置されている差動トランスについてマイクロメーター検定装置を使用して、変位に対する pre amp. 出力を示したグラフである。1 μ 当りの電圧変位は 4~6 mV で $\pm 200 \mu$ の範囲は十分直線領域に入っている。フィルターを通すと約 1/5 に感度が落ちるので 1 μ 当りの電圧変化は約 1 mV になる。水位が一方的に drift し

AGC AMP.



PRE AMP.



FILTER

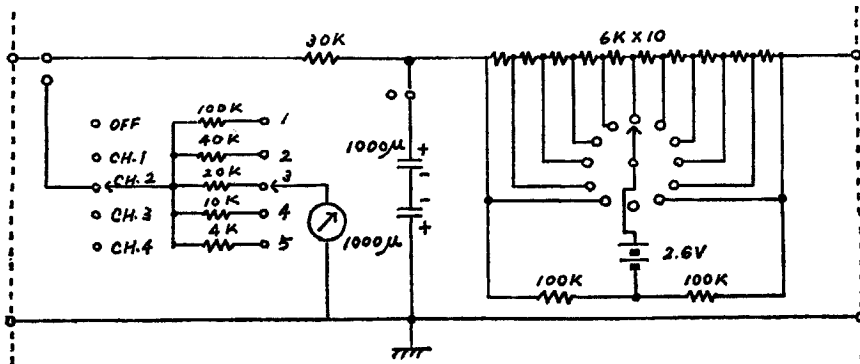


Fig. 7 Electronic circuits of AGC amp., pre amp. and filter.

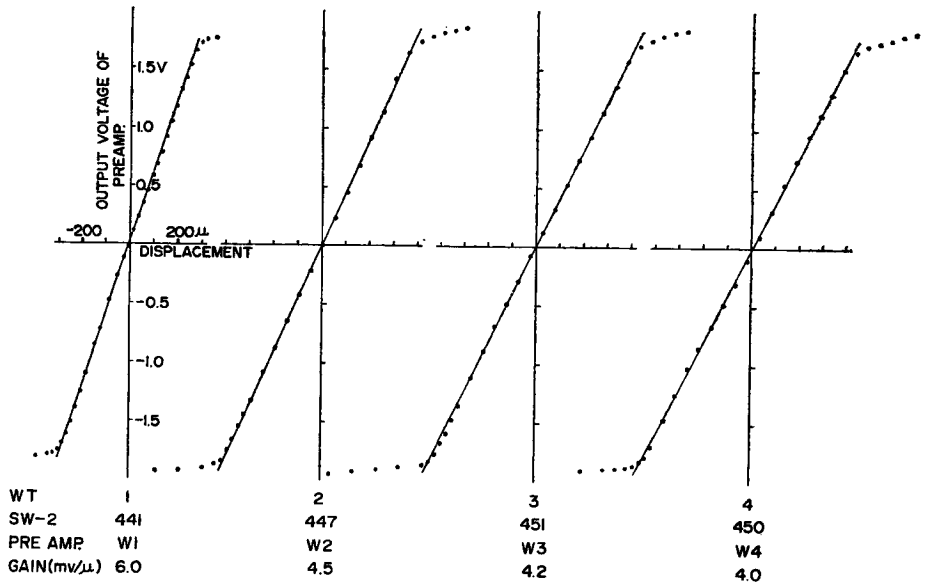


Fig. 8 Calibrated results of sensitivity.

てゆく場合にはスパンシフトで、レコーダー上 0~10 mV に入るよう調整してやる。このスパンシフトは北陸で水管傾斜計以外の計器に用いられているものと同じものである。それでも調整不能になった場合、伸縮計ならばリセット機構を備えているので、core の coil に対する位置をもとに戻してやることできる¹²⁾。しかし、水管傾斜計には今のところリセット機構を設けていないので、フィルター内にさらに水銀電池で逆

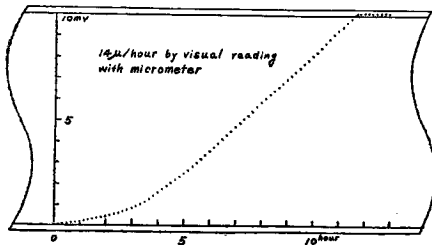


Fig. 4 Record of level variation of water surface.

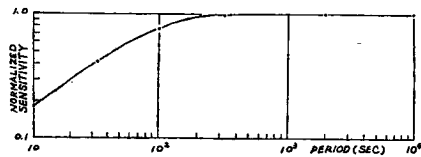


Fig. 9 Characteristic curve for displacement of core.

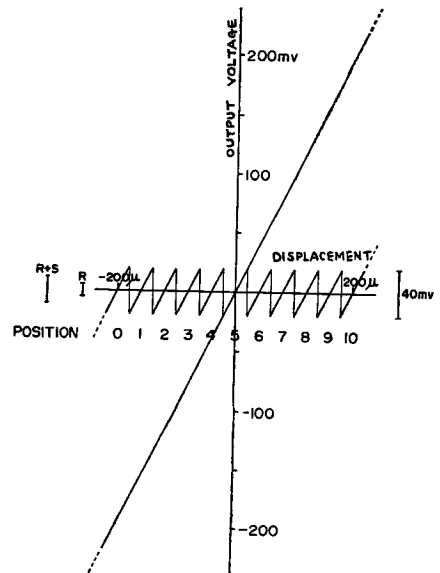


Fig. 10 Graphic explanation of system of span shift.

電圧を与えてやり常に 0~10 mV に入るようにしてやるために、約 40 mV drift するごとに電圧を零に戻してやる回路を設けてみた。これによって $\pm 200 \mu$ すなわち ± 200 mV を常に 0~10 mV に入れてやるのが可能になる。(Fig. 10 参照)。フィルターの特性を Fig. 9 に示す。

6.5 感度検定

感度の検定は mass を水中に出し入れすることによって行なう。1つの pot に mass を投入すると一定時間後には全 pot の水面が平衡に達する。各 pot の水位は同じ量だけ変化するので各 pot の感度を厳密に比較することができ都合がよい。

6.6 レコーダー

レコーダーは横河電機の打点式で 6 チャンネル用である。警報装置付でスパンシフトと連動して記録が両端に近づくときマイクロスイッチがはたらき 6mV だけ逆方向へステップするようになっている。従って記録範囲は実質 22 mV となる。

7. あとがき

現在、観測坑で差動トランスの core を固定した状態で記録をとっている。残念ながらフロートを浮べて記録をとるまでには至っていない。今後の予定としては、まず WT1 と WT2 を結んだ状態で種々の実験を試み、安定した記録がとれるようになった時点で、ロの字型に連結したい。差動トランス方式鉛直振子型傾斜計との比較観測も予定されている。

水管傾斜計の観測システムを完成させるにあたって終始御指導いただいた尾池和夫教授に感謝の意を表します。自動化のテーマを最初に与えて下さった京都大学理学部地球物理学教室一戸時雄教授、あたたかく激励下さった田中 豊講師、資料を送付して下さい下さった東京大学地震研究所山田重平氏、何かにつけ御協力下さった研究室の方々、とりわけ共に計器の製作・設置にあたっていただいた小泉誠技官、細善信技官に深く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 田中 豊・加藤正明：2重振子型高感度傾斜計による地殻傾動の観測（第1報）、京都大学防災研究所年報、第9号、昭41. 3、pp. 69-79.
- 2) 尾池和夫・小泉 誠・平野憲雄・松尾成光：可変容量型傾斜計の試作、京都大学防災研究所年報、第11号A、昭43. 3、pp. 53-58.
- 3) 坪川家恒・長沢 工・柳沢道夫・村田一郎・田島広一・佐藤忠広：電磁型傾斜計とそれによる観測、測地学会誌、第16巻、第4号、昭46. 3、pp. 209-231.
- 4) 柳沢道夫：TEM 傾斜計の電子回路とその信頼性、測地学会誌、第17巻、第4号、昭47. 3、pp. 160-169.
- 5) Eaton, J. P.: A Portable Water-tube Tiltmeter, Bull. of the Seis. Soc. of Amer., Vol. 49, No. 4, 1959, pp. 301-316.
- 6) 萩原尊礼：松代地震から何を学んだか、自然、第25巻、第10号、昭45、pp. 83-90.
- 7) Bonchkovsky, V.F. and Skur'yat, A.N.: The level Variometer LV, Izv. Geophys. Ser., 1961, pp. 79-90.
- 8) 津村建四郎：高感度水管傾斜計の試作およびこれによる地球潮汐の観測、測地学会誌、第6巻、第3号、昭35、pp. 85-88.
- 9) 江頭庸夫：自記水管傾斜計、京都大学防災研究所年報、第8号、昭40. 3、pp. 59-69.
- 10) 西口 讓：計測・制御差動トランスとその応用、オーム社、昭41.
- 11) 岸本兆方・田中 豊・尾池和夫・義江修二：鯖江地殻変動観測室観測序報、京都大学防災研究所年報、第13号A、昭45. 3、pp. 109-119.
- 12) 岸本兆方・尾池和夫・津嶋吉男：可変容量型ひずみ地震計について、京都大学防災研究所年報、第11号A、昭43. 3、pp. 67-73.