

# 可変容量型傾斜計の試作

尾池和夫・小泉 誠・平野憲雄・松尾成光

## A TILTMETER OF A VARIABLE CAPACITANCE TYPE

By *Kazuo OIKE, Makoto KOIZUMI Norio HIRANO*  
and *Shigemitsu MATSUO*

### Synopsis

For the continuous observation of crustal movement, it is necessary that the instruments are highly sensitive and stable. The experimental observation by a tiltmeter of a variable capacitance type has been carried out at Osakayama station. Comparing with the usual tiltmeter of a horizontal pendulum type, the results are as follows;

1. the high sensitivity can be easily obtained. The trace amplitude of 1 mm on the record corresponds to the ground tilt of 0.005" at Osakayama station.
2. The instrument is very stable for the temperature variation and other disturbances.
3. Just after four earthquakes no step of the trace was discovered as is often seen on the records of the tiltmeters of horizontal pendulum type.
4. One distant and three near earthquakes are observed up to now. These records show non-oscillatory movements which may be related to the behaviour at the focal region generated by the earthquake occurrence.

### 1. ま え が き

地殻の傾斜変動を連続的に観測するためには、従来、水管傾斜計や水平振子型傾斜計等が多く使用されている。これらの器械は、それぞれの利点を有し、これまでに地殻の傾斜変動について、すぐれた成果が挙げられて来たことは云うまでもない。しかし、これらの傾斜計にはいくつかの問題点があることも判っている。例えば土地の傾斜変動を機械的に拡大し、光学記録方式によっているものが多く、したがって遠隔記録方式の採用が困難である。また水平振子型傾斜計は感度を高くすると機械的な不安定さが増してくるなどの欠点を持っている。したがって長期間にわたって高感度連続観測を行なうためには、さらに精度が高くしかも長期間安定して観測できる傾斜計を製作する必要がある。二重振子型傾斜計などはこのような目的のために考案されたものである<sup>1)</sup>。また、記録紙の取替などの記録に及ぼす人為的な影響を防止するためには、遠隔記録方式の採用が不可欠となる。

高感度で長期間安定していること、および遠隔記録方式を採用できることなどの要求を満足するような、土地傾斜変動の連続観測を可能にするという目的で、われわれは可変容量型傾斜計を試作した。また、比較的短時間の傾斜変動、特に地震発生前後にわたる地殻の変動を詳細に観測することも、従来の傾斜計では地震波動の影響を受けやすいことなどのため困難であったが、その点を改良することにも重点をおいた。

### 2. 可変容量型傾斜計の原理

Transducer の機械的部分の原理を Fig. 1 に示す。鉛直方向にピアノ線または板バネで吊り下げた mass

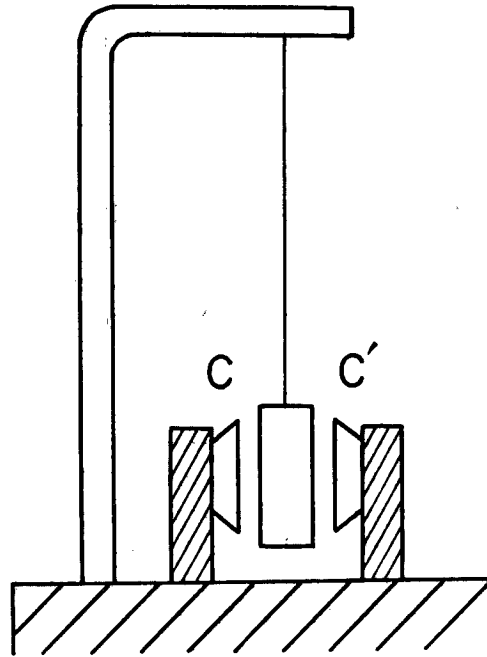


Fig. 1 Variable capacitance-transducer (schematic).

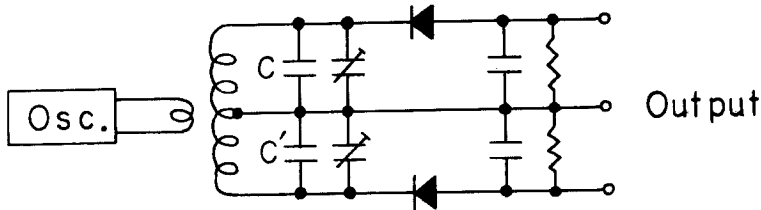


Fig. 2 Network of transducer.

の両面と、絶縁体で台に固定された極板との間に condenser  $C$ ,  $C'$  が形成されている。この  $C$ ,  $C'$  は Fig. 2 の回路図に示されるように共振回路を作る。この  $C$ ,  $C'$  を調整して水晶発振器によって発振される高周波 (5Mc) より、やや高い (または低い) 周波数に同調させておくと、 $C$ ,  $C'$  の微小変化に従ってダイオードに流れる電流が変化する。回路を共振線の直線性の良い点に同調させることによって、振子の mass の微小変位に比例した出力電圧を取出すことができる。この方法は、上宝地殻変動観測所に設置されているひずみ地震計と同じ原理にもとづくものである<sup>2)</sup>。

振子の長さ  $l=20.6$  cm の時、台の傾斜  $1''$  に対応して極板間の距離は  $1\mu$  変化する。機械的および電気的安定性を考慮すると  $0.001''$  の傾斜に対して  $100\mu\text{V}$  程度の出力電圧変化を得ることが技術的に可能であろう。

### 3. 観測器械の構成および特性

全体の構成を Fig. 3 に示す。2. に述べた原理で得られる出力を low-pass filter に通して数分以下の周

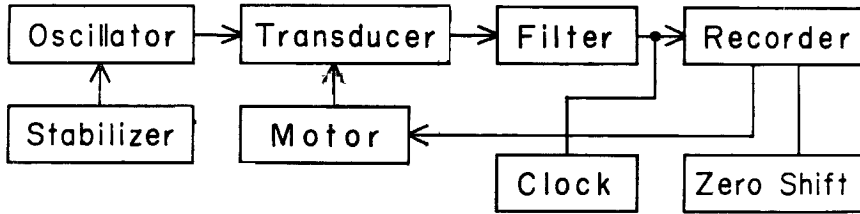


Fig. 3 Recording system.

期の変動を除去し、インク書記録計で記録する。記録紙の送り速度は 25~300 mm/h である。振子の固有周期は 0.5 sec で、特に damper を取付けていないが、極板間距離を 0.2 mm 程度にすると、極板自身が air damper として働いたため、減衰比  $\nu=5$  となる。種々の振動を人工的に与えることによって、振子の振動が減衰した後、記録線にずれが残らないことが確かめられている。傾斜変動に対する記録振巾の総合倍率特性を Fig. 4 に示す。

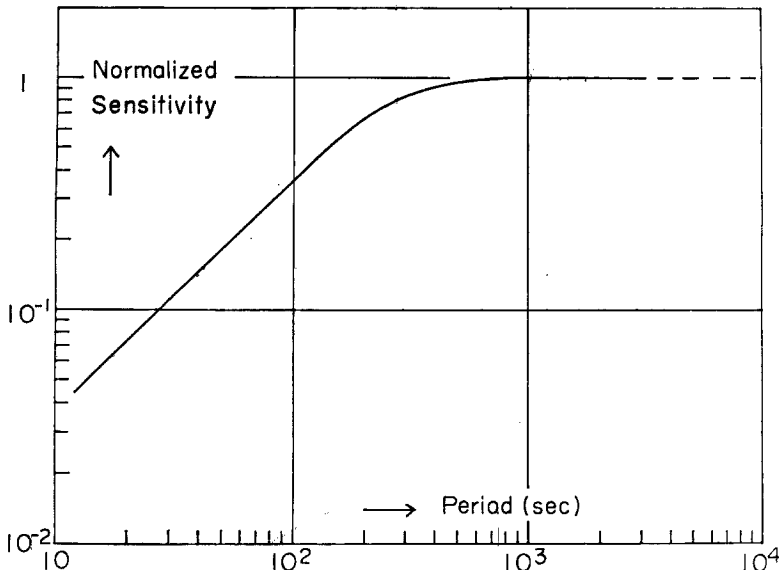


Fig. 4 Characteristic curve of tiltmeter.

傾斜変化が同方向に連続して生じた場合、記録はスケール・アウトする。この時は記録計と連動した装置によって測定基準電圧を自動的に変化して欠測を防止する。さらに同方向の傾斜変動が連続して生じた場合には、mass が両側極板の中心点からはずれるため直線性が悪くなる。したがってその前に transducer の台に取付けた支脚を motor で回し、台に傾斜を与えることによって補正し、再び振子を中央にもどす。これらの操作はすべて transducer の設置場所を離れた記録室から行なうので、記録に影響を与えることなく長期間連続観測を行なうことができる。

度数の測定は motor を廻転させて台に傾斜を与え、その時の記録を取る方法によって行なった。Fig. 5 に測定例を示す。これによると  $\pm 10''$  の傾斜に対して感度の直線性が成立っており、地殻変動の観測には十分な精度である。われわれが用いている自動平衡型記録計の場合、記録上 1 mm の変化が地面の傾斜

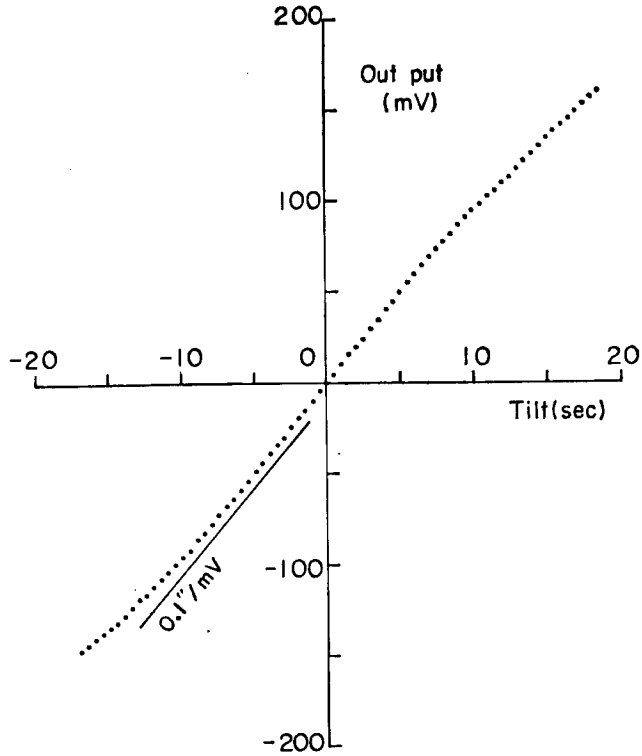


Fig. 5. Calibrated result of sensitivity.

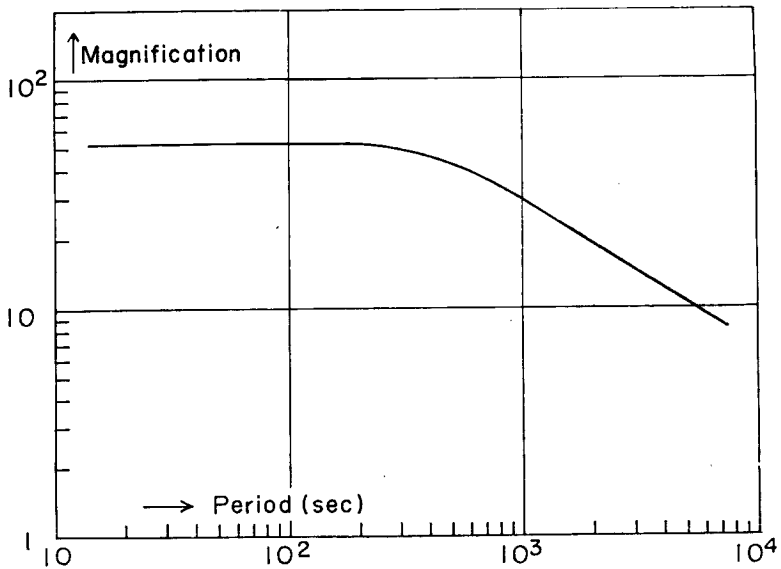


Fig. 6 Magnification for the ground displacement.

0.006" に相当する。

観測を行なう際、もっとも注意しなければならない要素は、器械に与える温度変化と湿気の影響である。上記の感度の場合について振子を固定して transducer の出力を記録し、温度変化と比較すると、室内温度 1°C の変化に対して出力が約 0.5 mV 変化する。これは 0.05" の傾斜に相当するが、観測用坑内での温度変化は小さいから、記録部分の受ける影響は無視できると考えられる。また、器械の各部分は高湿度の場所でも観測できるようすべて防水密閉型の構造となっている。

可変容量型傾斜計は振子を使用しているため、水平振子型傾斜計と同様に水平動地震計としても動作する。振子の固有周期は 0.5 sec, 減衰比  $\nu=5$  であるから、地動変位に対する倍率は Fig. 6 のようになる。振子の固有周期を非常に短くしたため、水平振子型傾斜計に比べて地震波などから受ける影響ははるかに少ない。

#### 4. 観測結果

逢坂山観測所坑内では、水平振子型および二重振子型傾斜計と比較するため可変容量型傾斜計を約 10 m 離れた場所に 1 台設置した。Photo. 1 に記録例を示す。設置後安定して観測ができるようになるまで数ヶ月を要すると思われるため長期間にわたる比較観測の結果はあらためて報告したい。

Photo. 2 に示したのは遠地震の記録例で、1967年7月23日、 $M=7.5$ 、震源地はトルコである。観測場所は防災研究所実験室内で、方向は EW, 記録上 1 mm が傾斜角 0.5" に相当する感度である。変位に対する倍率は周期10分の波動に対して約10倍になる。Photo. 2 に見られる振動が土地の傾斜を伴うもの

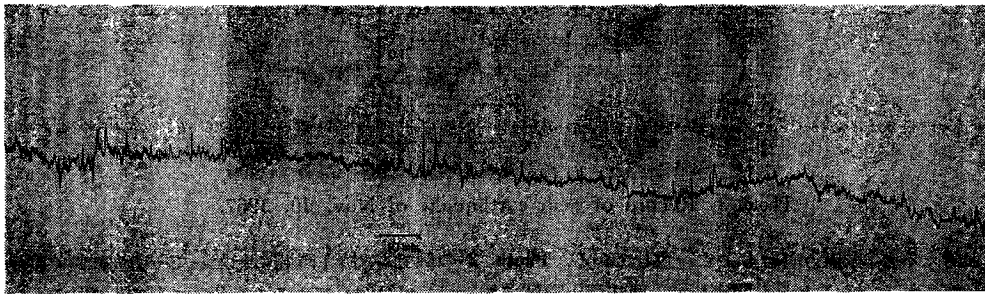


Photo. 1 Record of secular and tidal tilt movement at Osakayama station observed by the tiltmeter of variable capacitance type.

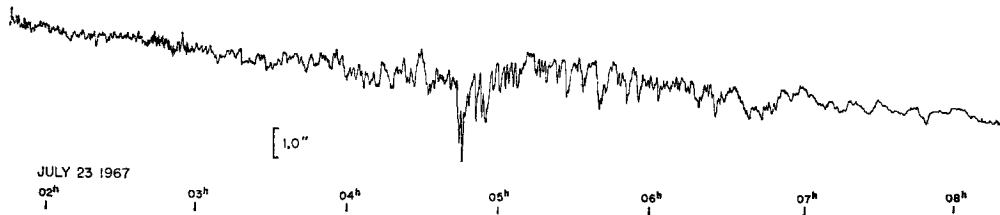


Photo. 2 Record of distant earthquake of July, 23, 1967.

であるかどうかは、これだけでは判定できない。02時40分頃から03時00分までに記録されている比較的短周期の波動は表面波で、水平動地震計の記録と比較すると、周期・振幅ともよく一致している。Photo. 3 は逢坂山観測所で観測された1967年11月10日の地震で、震源地は千葉県中部である。変動が始まって頂点に達するまで約2分間を要し、約5分間で元の位置に回復していることから、単に器械の性質でみかけ上現われた記録ではないとも思われる。また、上賀茂地学観測所で観測されたウィーヘルト型地震計の記録にも、同時刻に同じような記録線のずれがみられる。この地震計は倒立振子型であるから、これを傾斜計として動作す

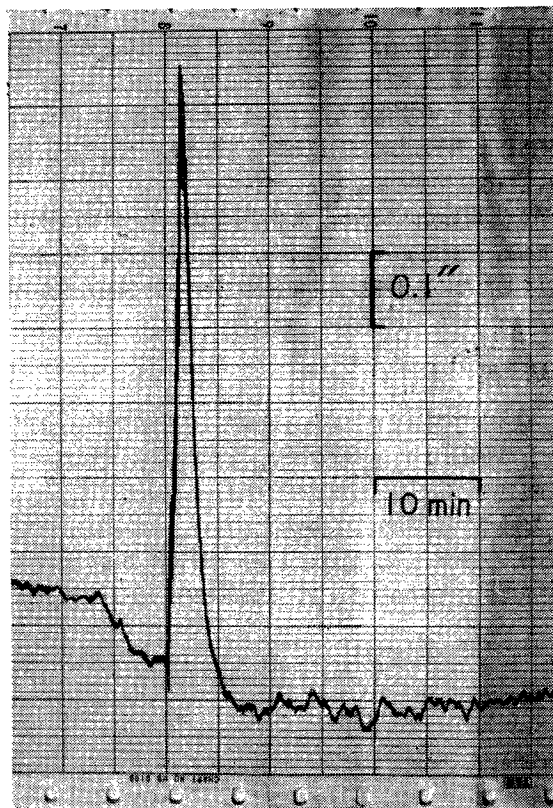


Photo. 3 Record of near earthquake of Nov. 10, 1967.

ると考えると、振幅方向ともよく一致している。Photo. 2 の例でも、約1時間にわたって一方向に傾く変動が記録されていることも関連して、興味深い記録であるが、記録例が集まるのを待って研究を進めたい。

地震の際、水平振子型傾斜計の記録にはしばしば記録線のずれが現われるが、可変容量型傾斜計では未だ観測されていない。観測方式が異なること、およびインク書きの遠隔記録方式のため後者は簡単に早送りの記録が得られること、また振子の固有周期が非常に短く、地震波の影響を受けにくいことなどを考えれば、この記録線のずれが地震による土地の傾斜変動であるか、または器械の構造に由来して、単にみかけ上出るものであるかを明らかにすることができると思われる。Photo. 2 に示した地震の際、上賀茂および逢坂山の水平振子型傾斜計は記録紙上最大約 15 mm のずれを示している。この問題に関しても資料の集積を待つて研究を進めてゆく予定である。

器械の製作に際し、防災研究所岸本兆方教授並びに津嶋吉男技官から多くの貴重な助言を賜った。観測実施に際し、細善信氏の努力に負うところが多い。深く感謝いたします。この研究は文部省災害科学特定研究によって行なわれたものである。

#### 参 考 文 献

- 1) 田中豊・加藤正明：二重振子型高感度傾斜計による地殻変動の観測（第1報）、防災研究所年報第9号、1966、pp.69—79.
- 2) 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、防災研究所年報第11号A、1968、pp.67—73.