

串林地すべり地における土地ひずみについて

—その観測体系—

竹内 篤雄・島 通 保

ON THE GROUND STRAIN IN KUSHIBAYASHI LANDSLIDE AREA

—On the Observation System—

By Atsuo TAKEUCHI and Michiyasu SHIMA

Synopsis

The observation system has been kept the accent on the landslide movement forecast (forecast of secondary movement) and the grasp of landslide mass movement after engineering works for the prevention of the landslide works. From such a system, we could obtain no more than the rough informations on the landslide mass movement. But, the observation system seemed to be unsuitable for quantitative analysis of the movement condition of landslide mass.

Thereupon, for the quantitative analysis, we designed a new observation system for the landslide movement. Furthermore, improving on the internal strain meter and tilt meter, we manufactured to trial a recording long water tube tilt meter and an internal deformation meter. It was shown by the new observation system that, even in the small scale landslide area like this, the landslide mass did not move as one mass but as some small blocks and the type of the movement was creep.

1. 序

従来地すべり地内外の計器観測は主として一度活動した地すべり土塊の再活動を予知する目的あるいは地すべり防止工事の進行に伴う土塊の変動状況の監視さらに防止工事の効果判定の目的を持って行なわれることが多く、従って設置される計測器もこれらの目的に適ったものが使用され、かつ設置場所も地すべり活動の諸現象の現われやすい所が選定されている。以上のような見地から地形的に見て地すべり活動の諸現象の現われ易い場所に伸縮計、傾斜計、地中内部ひずみ計等を設置して地表及び地中の変動状況を把らえ、地すべり予知、防止工事の効果判定等の用に供して来た。確かに上記の目的に沿って設置された諸計測器は各々充分満足出来る資料とは云えないまでも、その目的に沿った資料を提供して来ている。しかしこれらの貴重な資料は上記の目的を一步離れて、地すべり現象そのものを定量的に解析するための資料として用いようとすると中々満足出来るものは見い出せない場合が多い。そこで筆者等は予知・予測、あるいは防止対策を目的とした観測というものととらわれず、地すべり現象そのものを出来るだけ忠実に把握するための観測体系つまり地すべり現象を定量的に解析するに耐えうる資料の得られる観測体系を考えて見ようと試みた。このような観測体系は地すべり地に対して高い密度の計測器の配置を要求するであろうから当然、予知・予測あるいは防止対策のための資料をうることの出来る観測体系をも包含することになると考える。さらに筆者等は現在使用中の諸計測器に対して少なからぬ不満があるのでこれら諸計測器の改良・試作という点も含めて上記課題について検討することにした。

2. 試 験 地

1. にのべた事柄を検討するために筆者等は滋賀県大津市雄琴町に位置する串林地すべり地を試験地として選定した。串林地すべり地内外の地形的、地質的な事項に関してはすでに山口等^{1), 2)} によりのべられてい

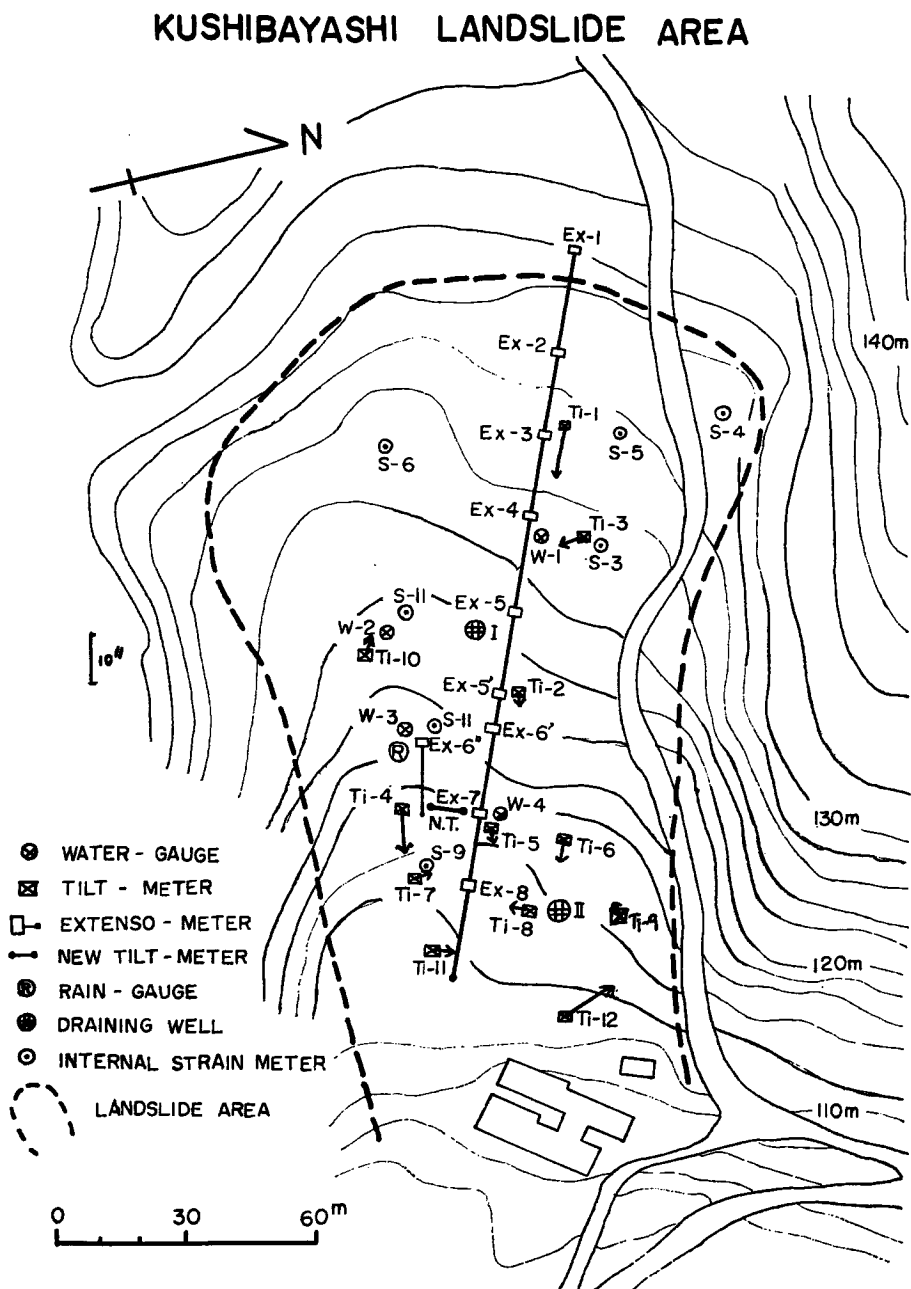


Fig. 1 Topographical map of Kushibayashi landslide area and new observation system after 1971. 7.

るためここでははぶくが、当地すべり地は京大防災研究所（宇治市）から約 26km の地点琵琶湖の西岸に位置し、調査研究を行なうには筆者等自からが容易に観測・調査に行ける点、又規模も巾 50m 長さ 180 m と小さな地すべり地であるため試験的な研究、計器開発を行なうには適している点から見て都合のよい地すべり地である。（Fig. 1）

3. 地すべり発生状況

当地すべり地は 1967 年 6 月 22 日に急激に活動したものであり、その発生状況は一般に知られている地すべりの発生状況とはかなり異ったものであった。つまり 1967 年 4 月中旬の長雨以来雨らしい雨もなく 6 月に入り、琵琶湖の水位も日々低下の傾向をたどり 6 月 22 日には -35cm という異常枯水期を迎えていた。このような状態にある中で 6 月 22 日地すべりは発生した。地すべり発生の数日前より当地域の南部で宅地造成のための地ならしが行なわれており、地すべり発生当時約 3,000m³ の土砂が地すべり上部の南側にブルドーザーにより盛土されていた。当地すべり地北側に沿い埋設されている大津市の上水道は 6 月 18・19 日にその使用量が急激に増大していることが認められており、地すべり発生と同時にこの水道管は切断された。このように当地すべりは降雨、地震等の大きな自然的な発生因子無くして生じた地すべりであるため、その後の梅雨期・台風期の降雨の地すべり活動に与える影響が憂慮された。当地すべり地東方には雄琴町の中心部が存在するため、人心安定上からもその土塊の動静を把握する必要があった。そこで、急激に活動した地すべり土塊のその後の状況を把握し、再活動の予知を行なうと共に地すべり防止対策の参考資料を得るために、1967 年 7 月より調査・観測を行なった。

4. 1967～8 年の観測

地すべり再活動の予知と防止対策の参考資料をうるために下記のような観測体系を設定して観測を行なった。

地すべり再活動が起こる場合、もっとも早くその兆候が表われる場所は初めの地すべり活動の際に生じた亀裂部であろうと考えられる。そこでこの亀裂周辺の変動状況に注目した観測体系を設定した。Fig. 2 に示すように主要亀裂をはさんで 3 台の伸縮計を設置すると共に、地すべり中央部（上部土塊と下部土塊の重複部）の南北に 2 成分の傾斜計を 2 台設置した。Fig. 3 に 3 台の伸縮計の観測記録と降雨量を対比して示した。これを見るといずれの伸縮計も伸びが示されており、しかも降雨との相関関係はかなり強いものがあり、降雨後 2～3 日にその影響が表われている。つまり亀裂拡大と降雨とは密接な関係をもっていることが示された。一方 Fig. 4 に示した傾斜計の変動状況はその観測期間の短いためか 7 月上旬の降雨による影響が記録されているのみである。これらの傾斜計は当地すべり地の最も傾斜の急な斜面の上部（地形急変点の真近）に設置されているため下部土塊の変動を把らえたものと思われる。伸縮計と同様に降雨の影響は顕著に表われている。また地中内部の変動状況を知るために埋没された地中内部ひずみ計の観測記録によると、すべり面はおよそ 6～8 m の深さにあり、降雨時に主として活動することが示されている。このように一度急激に活動した地すべり土塊は土塊が活動した際の亀裂等により空隙率を増すため雨水の浸透が容易になり、土塊の軟弱化が早められて降雨の影響に敏感に反応することを示している。この観測は諸種の都合により 1969 年 11 月に中断されており、急激に活動した地すべり地のその後の動静を見る機会を得ないままになっていた。亀裂は粘土で埋め戻され、地すべり防止工事として横孔排水試錐、集水井等が筆者等の調査結果に基づいて施工され地すべりは大きな活動を起こすことなく停止したと考えられていた。

このように今までの観測体系に基づいた調査結果は一度活動した地すべりの再活動の予知及び防止工事に伴う地すべり土塊の変動状況についての情報は与えてくれるが、これらの測定結果に基づいて地すべり土塊の変動状況を定量的に把らえようとすると観測網の粗さあるいは観測点の偏在（地すべり活動の端的に表われる場所にしか観測点が設置されていない場合）が在るため、実際の地すべり現象について検討することが難しい場合が多いことが判った。

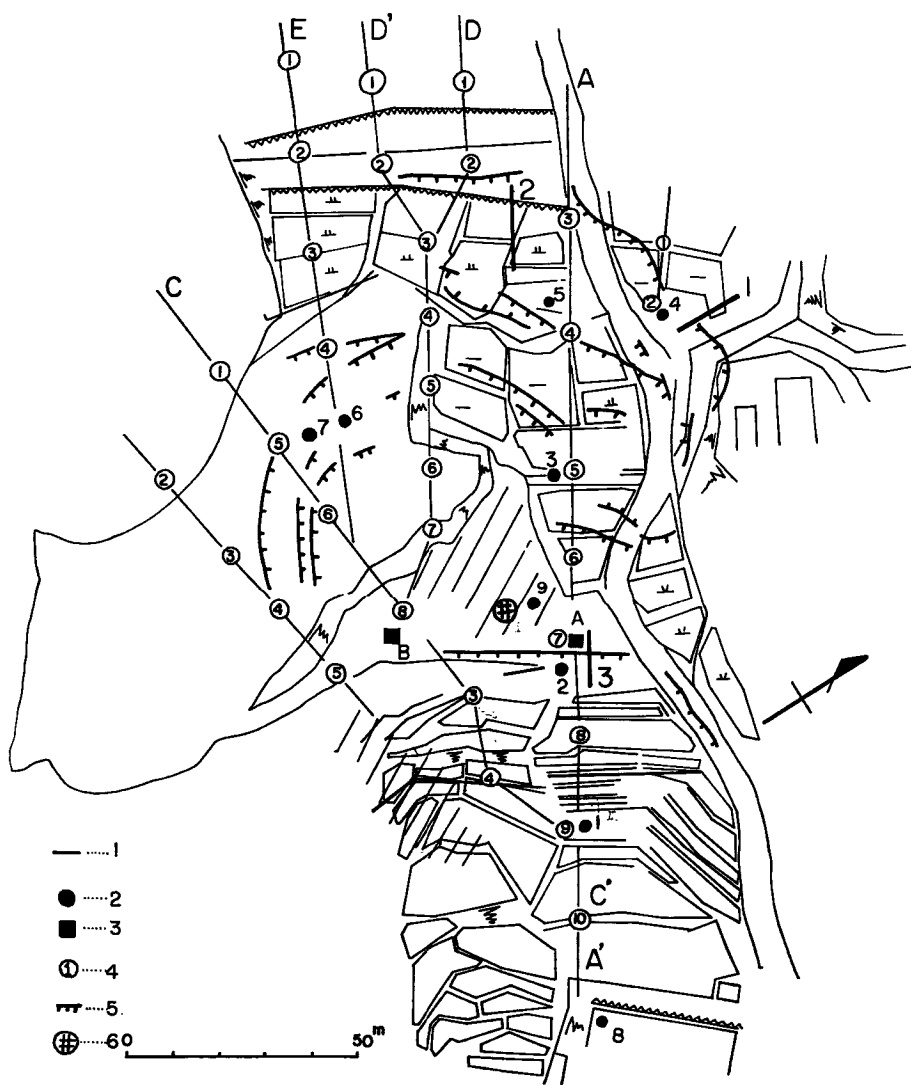


Fig. 2 Old observation system at 1967-1968.

1. Extensometer, 2. Internal strain meter, 3. Tilt meter,
4. Measuring points of electrical resistivity survey,
5. Cracks, 6. Draining well.

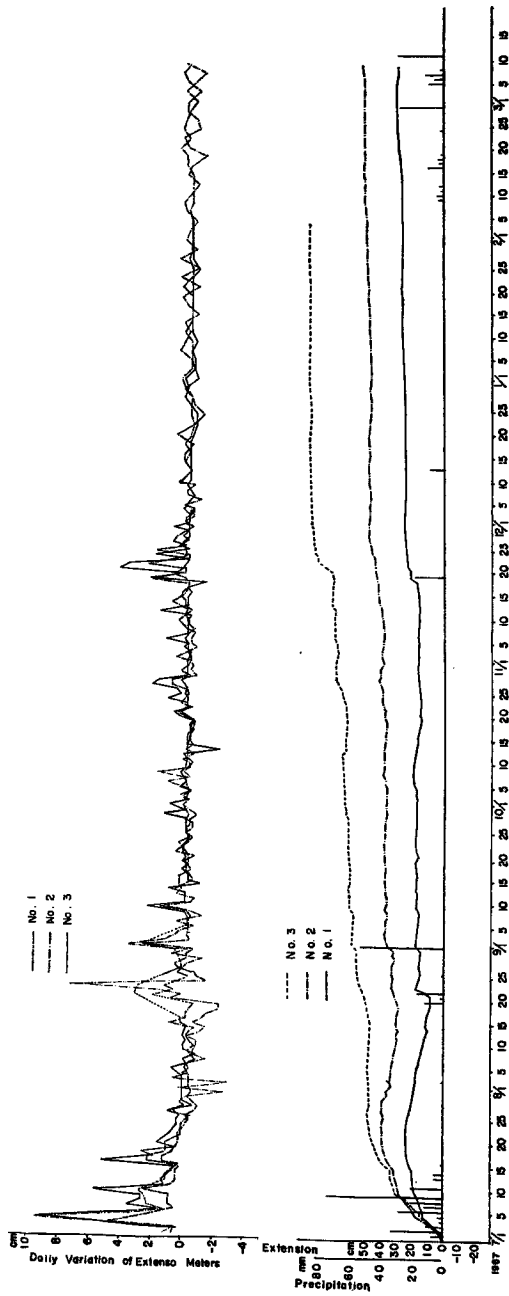


Fig. 3 Variations of surface strain and precipitation. (1967-1968)

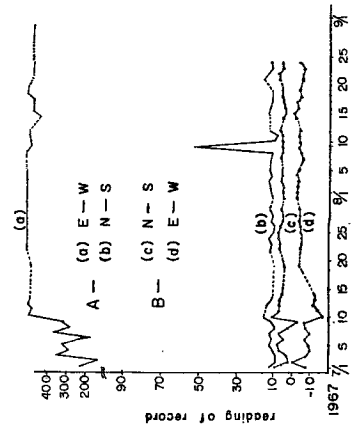


Fig. 4 Variations of ground tilt. (1967)

5. 1971年7月以降の観測体系

1971年7月に当地すべり地で観測を再開するに当たっては、4.にのべた点を充分考慮し、地すべり現象を立体的に把握でき得るような観測体系について検討し、かつ定量的な解析に耐え得る資料の得られない計測器に対してはその計器を改良するか又は新たに計器を開発するなど諸種の目的を定めた。

まず漸定的な観測体系としては Fig. 1 に示すようなものを考え、これを踏台としてそこから得られる資料を検討し、観測体系の是非を見定めながら理想的な観測体系の確立を目指そうと考えた。

今日まで多くの地すべり地で行なわれているように地すべり予知又は地すべり防止工事の参考に供するための調査に重点を置いた観測体系に基づいて得られた資料のみでは地すべり現象を忠実に把らえているとは云い難く、従って地すべり土塊の移動機構を定量的に解析することも難かしいことは云うまでもない。現在2, 3の地すべり地(亀ノ瀬³⁾, 猿供養寺⁴⁾)ではかなり密度高くかつ有機的に観測が行なわれ、定量的に解析されている例もあるがもう一つはきりしないようである。

そこで当地すべり地では1967~8年に設置された観測体系を有益に生かしつつ、これに加えて Fig. 1 に示す観測網を設置した。その概略をのべる。

伸縮計：これは適当な間隔に打ちこまれた杭にインバール線を張って、そのインバール線の伸縮を自記記録させて地表面の伸縮状況を知るものである。この計測器9台を地すべり上部仮不動地から約20m間隔に全長171.42m連続的に設置した。このようにすれば地すべり上部から下部に至る土塊の変動状況が定量的に把握出来るからである。

傾斜計：これは適当な基礎の上に N-S, E-W の2方向にセットされた水管傾斜計であり、土塊の傾動を水管内の気泡の移動により把えられようとするものである。この計測器は一般に50cm四方のひろさの所に1.5mの杭を3~4本打ちこみ栗石を入れた後コンクリート台を作製し、その上に設定されているが、この基礎がどのくらいの広さの土塊の傾動を代表しているかはまだはっきりと解決されていない。今回はその広さの範囲も検討する意味で20mグリッドを地すべり地内に設けその交点に傾斜計を設置した。このように密に設置されていれば土塊の傾動をかなり把めるのではないかと考える。又 Ti-4 と Ti-5 の間隔20mのところに後述する自記式長径水管傾斜計を設置すると共にそれと平行に5m長の鉄わくを2本設置して Ti-4 と Ti-5 間の土塊の相互傾動についても測定を行なった。

地中内部ひずみ計：1967年に10本の調査用試錐が行なわれ、その孔を利用して1m間隔に歪ゲージを貼った塩化ビニールパイプ(地中内部ひずみ計)を埋設したので、これをそのまま利用して地中の変動状況を計測すると共に、この地中内部ひずみ計の欠点を補う意味で後述する地中変形測定器による地中変動状況の計測も行なった。

この他に自記式雨量計、水位計、蒸発計を設置すると共に集水井及び横孔排水試錐からの地下水の湧出量も測定した。

以上のように種々の計測器を地すべり地内外に設置して計測を継続中である。

今回は諸観測の内特に地表面の歪に焦点を絞って、その観測結果をのべ、これに新傾斜計、地中変形測定器の観測結果を加えた。

6. 観 測 結 果

6-1 伸 縮 計

伸縮計は図-1に示す如く地すべり上部仮不動点より約20m間隔に9台設置し、その他に2台補助として設置した。使用した計器は坂田電機製の地すべり記録器 SRL-1 型で倍率は5倍である。記録速度は7日巻を使用した。杭間に張ったインバール線は一般に塩化ビニールパイプ又は木枠で覆いをするが、当地すべり地は雪も多くないので、今回は裸線のままで測定した。この場合は風による影響が多少見られるのみである。

伸縮計は地すべり上部より Ex-1~8 と番号を付けた。観測開始より1972年10月31日までの記録を Fig. 5

に示す。なお作図の都合上 Ex-7, 8, 1-8 の記録をグラフ上部に描いてある。この図を見ると歪累積量はいつれの伸縮計も伸びを示すものではなく全て縮みを示していることが判る。このことは仮想不動点の Ex-1 よりさらに上部に伸びの現象を示す(引っ張り亀裂等)場所が有るはずであるが、現在のところそのような兆候は地表面には認められていない。地すべり縦断方向の総合歪量は -8.6×10^{-4} であり $-0.20 \times 10^{-5}/\text{day}$ の日歪量となっている。この歪量の大部分は Ex-7 の伸縮計により生じたものである。ちなみに地すべり地外の不動地に設置された伸縮計は $-0.04 \times 10^{-5}/\text{day}$ の日歪量を示しており、地すべり地内のその5分の1にしか当たらない。

図中 Ex-6' は設置当初かなりの伸びを示しているが、これは Ex-6 と全く同一場所に同一長さで設置されたもので、インパル線をビニールパイプで保護したものである。インパル線を保護していない他の伸縮計とノイズ等について対比する意味で設置した。しかし保護パイプの設置の悪さからか直射日光の変形のためにインパル線が強制的に伸ばされていちじるしい伸びを示したものと考えられる。この伸びが地すべり性の現象でないことは Ex-6 の記録をみれば明らかである。または保護パイプを修正してからは(1971.9以降)縮みの記録を示している点からもこのことは云える。

6-2 傾斜計

傾斜計は Fig. 1 に示すように変動の大きいと推定される下部土塊に主眼を置いて20mグリッドを組んで8台、上部土塊に4台の計12台を設置した。観測は原則として週1回記録の読み取りを行なった。

次に各傾斜計の観測開始から1972年10月までの観測結果を Fig. 6 a, b に示す。この図を見ると傾斜計はいずれも1971年8月～9月、1972年7月～10月にかけて変動が認められる他、一部の傾斜計では1971年11月～12月にかけても変動が見られる。なお Ti-8, 9 の傾斜計はいずれも1972年1月下旬に盗難に会い観測を中断させられた。

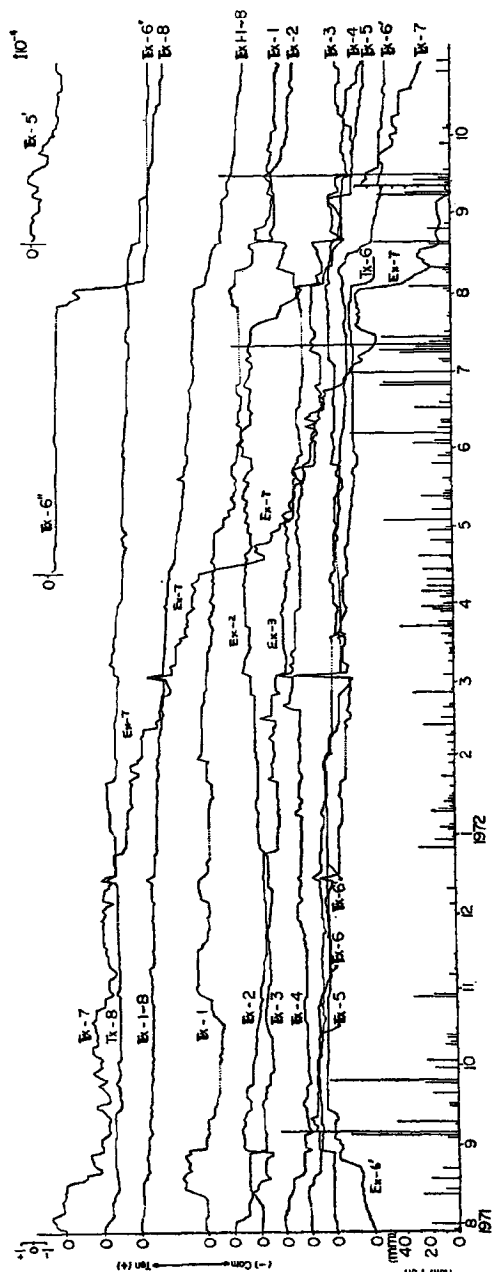


Fig. 5 Variations of surface strain and precipitation. (1971-1972)

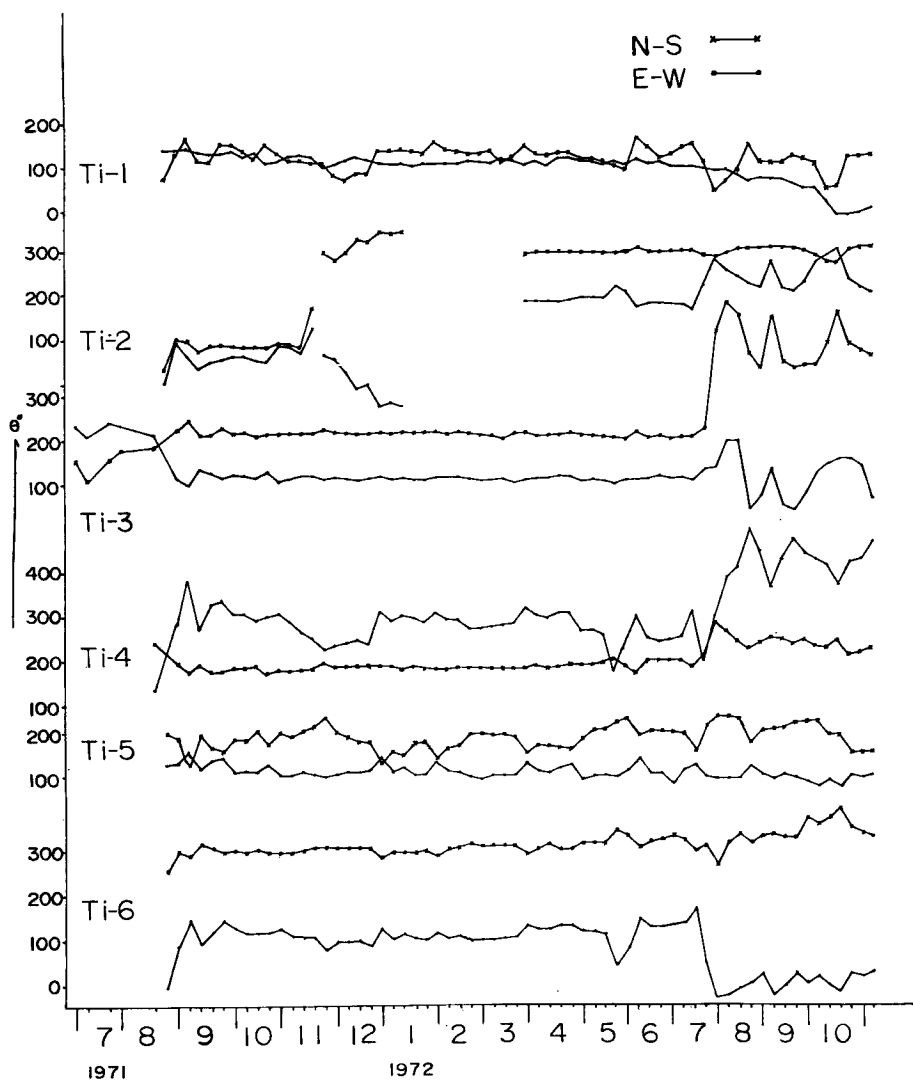


Fig. 6 a Variations of ground tilt. (1971-1972)

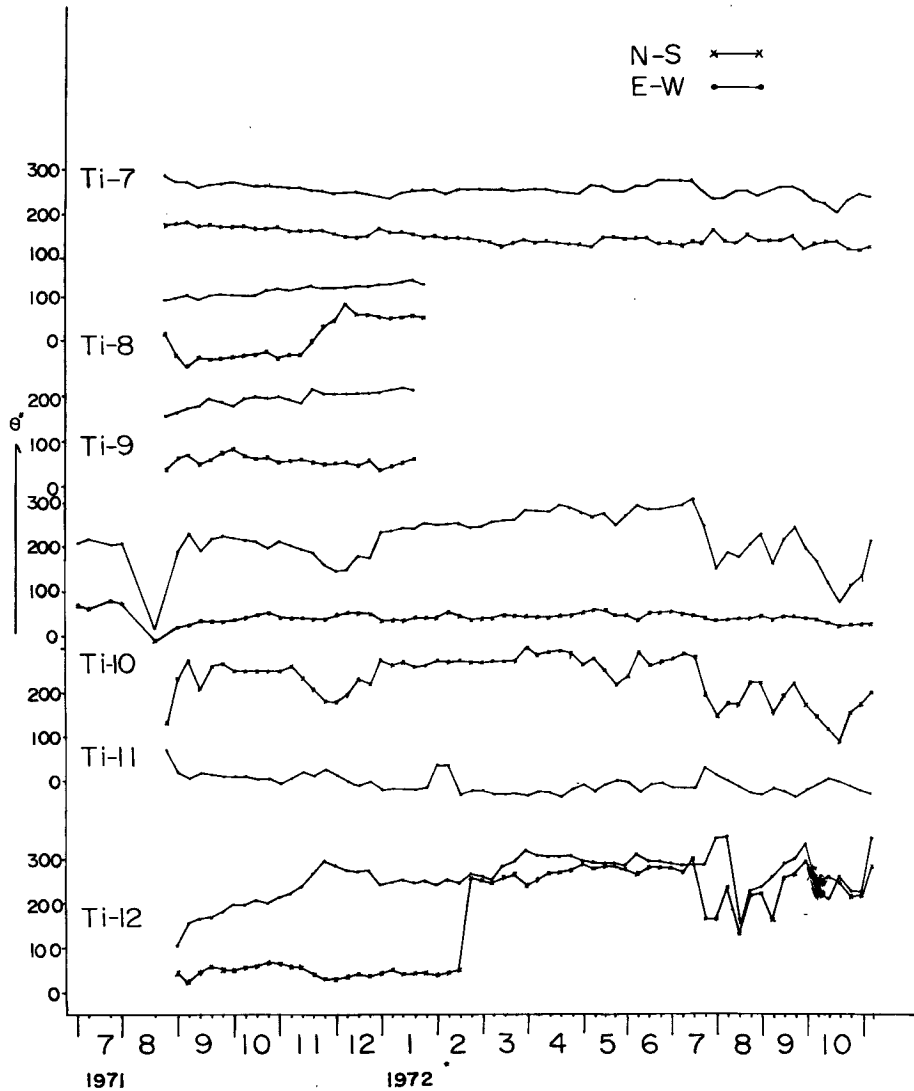


Fig. 6 b Variations of ground tilt. (1971-1972)

7. 観測結果の解析

6 において伸縮計，傾斜計の観測結果をのべたのでここでは雨量の資料を加えてこれらの観測結果を検討し，当地すべり地の地表面ひずみについてのべてみよう。

7-1 伸縮計観測結果に対する検討

伸縮計の日歪量を見ると，不動地では $0.04 \times 10^{-5}/\text{day}$ に対し地すべり地内では $0.83 \sim 0.12 \times 10^{-5}/\text{day}$ と不動地に対し 3～20倍の大きさとなっている。つまり地すべり性の変動を現在も行なっていると考えてよいと思う。次に一般に地すべり地の地表面の伸縮は降雨と関係があると云われている。最初に降雨と移動量との関係について定量的な研究を行なったのは谷口⁵⁾である。それによれば降雨後2，3日目に移動量は増加することが示されている。その後降雨—移動量の関係について多くの研究結果（たとえば川本^{6), 7)}等）が発

表されているが、いづれの場合も降雨後数日してから移動量が増加していることを示している。そこで本地すべり地においても降雨と地表面歪との関係について検討してみた。

降雨日の雨量とその当日の歪量, 1日後の歪量, 2日後の歪量, ……と云うようにある降雨日の雨量 (R_0) とその日を含めた数日間の歪量との関係を求めることにする。その方法は R_0 と $S_0, S_1, S_2, S_3, \dots$ との間の各々の相関係数を求める方法を採用した。もしある降雨日の雨量 R_0 がその1日後の歪量 S_1 に最も強影響を与えたとするならば, R_0-S_1 の相関係数は他の $R_0-S_0, R_0-S_2, \dots$ などの相関係数より大きいはずである。そこでこの方法により R_0-S_n の関係を求めるために連続的に降雨のあった期間 (0.1mm 以上の降雨が7日間連続した場合で 0.0mm を1日挟むことも可とした。) を選び出し, この降雨とその間の歪量との相関係数を求めて見た。1971年7月29日以降7日間以上連続降雨のあったのは1972年10月31日現在10回ある。そこでこの資料を基にして降雨と歪量 (ここでは特に歪量の大きな Ex-7 と総合歪量 Ex-1-8 の場合について検討した。) との関係を算出した結果を Table 1 に示す。この表を見ると一部を除いては降雨 R_0 と歪量 $S_0, S_1, \dots, S_n$ との間には有意ある相関係数は存在しないことが示された。つまりある日降った雨はそれから数日間の歪量には何等有意ある影響を与えていないことになる。

Table-1 The relation between rainfall and surface strain -1- ($R_{1-0}-S_{1-n}$)

n	1	2	3	4	5	6	7	8
0	-0.640	+0.056	-0.183	-0.050	-0.056	-0.049	+0.195	-0.116
1	-0.356	-0.502	-0.507	+0.065	+0.331	+0.066	-0.292	-0.987
2	+0.053	-0.063	-0.498	-0.138	-0.017	+0.083	-0.077	-0.040
3	+0.445	-0.401	-0.367	-0.196	-0.042	+0.212	+0.192	+0.319
4	+0.435	-0.226	-0.063	-0.656	-0.179	+0.345	-0.074	+0.442
5	+0.324	+0.276	-0.458	-0.816	+0.107	-0.590	+0.248	-0.321

..... coefficient of correlation with significance.

次に半旬毎の合計雨量 R_s と半旬毎の累積歪量 S_s との相関係数を R_0-S_n と同じ方法で求めて見た。ある半旬期間の合計雨量とそれを含めた半旬期間の累積歪量から5半旬後までの各累積歪量との相関係数を求めたものを Table 2 に示す。これを見ると, ある半旬期間の合計雨量 R_{s-0} は5半旬後の累積歪量 S_{s-5} と有意性ある相関係数にあることが示されている。

Table-2 The relation between rainfall and surface strain -2-

n	$R_{1-0}-S_{1-n}$	$R_{5-0}-S_{5-n}$	$R_{10-0}-S_{10-n}$	$R_{30-0}-S_{30-n}$
0	-0.056	-0.180	-0.005	-0.046
1	+0.321	+0.107	+0.024	-0.508
2	-0.017	-0.046	-0.271	-0.284
3	-0.042	+0.020	-0.348	
4	-0.179	-0.118	-0.321	
5	+0.107	-0.245		
6		-0.086		

..... coefficient of correlation with significance.

同様に旬, 月の各合計雨量と累積歪量との相関係数を求めたところ各々3~4旬後及び1カ月後の累積歪量と有意性ある相関係数が存在することを示している。(表-2)。

つまり当地すべり地では降雨が土塊移動に影響を与えるのは約1カ月後であるということになる。これは1967年~8年の観測結果や一般的に云われている降雨-移動量との関係から見てかなり遅いものである。この点については9.にのべる。

7-2 傾斜計観測結果についての検討

傾斜計は一般に地すべり地内外の予知を行うに適した又は活動範囲を把握するに適した場所に設置される傾向がある。地すべり地に設置された傾斜計の挙動についての研究は渡⁸⁾、高田^{9a)}によりなされているが、いずれも 50cm 四方のコンクリート土台上に設置された傾斜計の資料に基づいて論議を行なっている。しかし 1 台の傾斜計がどのくらいの範囲の土塊の傾動を把らえているかについて、あまりはっきりと論議していないようである。高田^{9b)}は亀ノ瀬地すべり地での例から 1 台の傾斜計は約 30m 四方の土塊の動きを把らえていると述べているが、地すべり地のように軟弱地盤において 0.25m² のコンクリートの土台に設置された傾斜計が 900m² もの広い土塊の動きを代表していると見なすことには疑問を感じる。そこでこの点も含めて地すべり地内外の土塊の傾動状況を的確に把む手段の一方として前述したような 20m grid を組んで各交点に傾斜計を配置することにした。又地すべり土塊の傾動と不動地の基底変動量とのちがいを知るために不動地の適当な所に 3 測点を設けたのでこの結果を含めて検討する。

傾斜計資料は観測結果を Fig. 6 に示したように NS 成分, EW 成分を別々に描いたのでは土塊全体の傾斜傾向を握みにくいので、全資料について 2 成分合成し、その結果を用いて検討を行なうことにした。

傾斜計 12 台の変動状況について検討するために基底累積傾斜速度と日平均傾斜変動量の両面より解析を行なった。

7.2.1 日平均傾斜変動量について

得られた資料を整理し各観測期間毎の日平均傾斜変動量 (θ_n) を算出し、グラフに示したものが Fig. 7 a, b である。一般に基底変動量が平地で 2~3"/day, 丘陵地で 3~5"/day, 山地で 5~8"/day を越えていれば地すべり活動を起こしていると考えてよいことが渡⁸⁾により示されているので、当地すべり地の存在する丘陵地帯の基底変動量 3~5"/day を基準として検討する。ここでは 4"/day を基準値として図中に示した。

Fig. 7 a, b に示すように 1971 年 7 月~9 月, 1971 年 11 月~1972 年 1 月及び 1972 年 6 月~10 月の 3 回地すべり性の変動期が見られる。このうち前者 2 期は梅雨期・台風期の降雨と対応していると考えられるが、後者については降雨と対応していない。このように当地すべりは夏期~秋期及び冬期に地すべり性の日平均傾斜変動量を示し、春期にあまり変動は見られない。これは一般に融雪期に変動する第三層型地すべりとは、かなり異なった型の地すべりに属するものである。

次に各傾斜計について全観測期間を通してその日平均傾斜変動量を求めたものを Table 3 に示す。これ

Table-3 ($\theta_n + \sigma$) and θ_b at each tilt-meter

No.	n	θ min.	θ max.	θ_n	σ	$\theta_n + \sigma$	θ_b
Ti- 1	62	0.000	15.420	3.845	3.538	7.383	1.310
Ti- 2	50	0.000	15.393	3.772	3.630	7.402	1.776
Ti- 3	66	0.000	32.401	4.731	6.671	11.402	1.773
Ti- 4	62	0.000	41.866	6.270	7.043	13.313	1.912
Ti- 5	62	0.000	15.566	4.413	3.607	8.020	1.703
Ti- 6	62	0.000	21.680	4.515	4.466	8.981	1.662
Ti- 7	62	0.000	14.001	2.127	2.123	4.250	0.836
Ti- 8	23	0.000	7.641	2.409	1.950	4.359	1.004
Ti- 9	21	0.000	4.994	2.389	1.373	3.762	0.930
Ti-10	65	0.000	27.890	4.222	4.507	8.729	1.681
Ti-11	62	0.000	15.371	4.644	3.810	8.454	1.843
Ti-12	61	0.000	76.571	6.825	12.491	19.316	3.717
Ti- 1'	135					2.298	
Ti- 2'	135					2.020	0.546
Ti- 3'	135					2.113	

Ti- 1—12 ... inside of the landslide area

Ti- 1'—3' ... outside of the landslide area

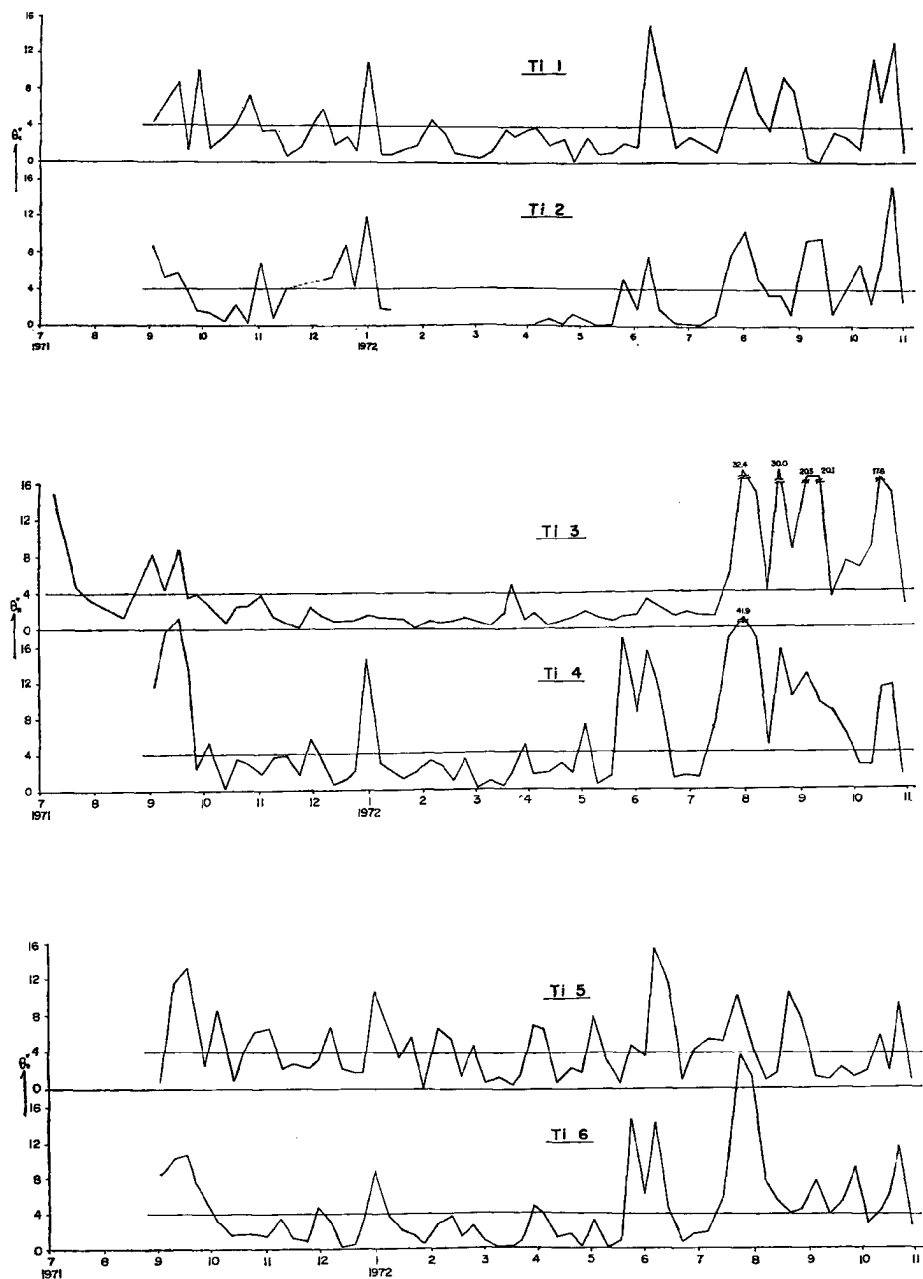


Fig. 7 a Variations of diurnally mean inclinational movement in each month.

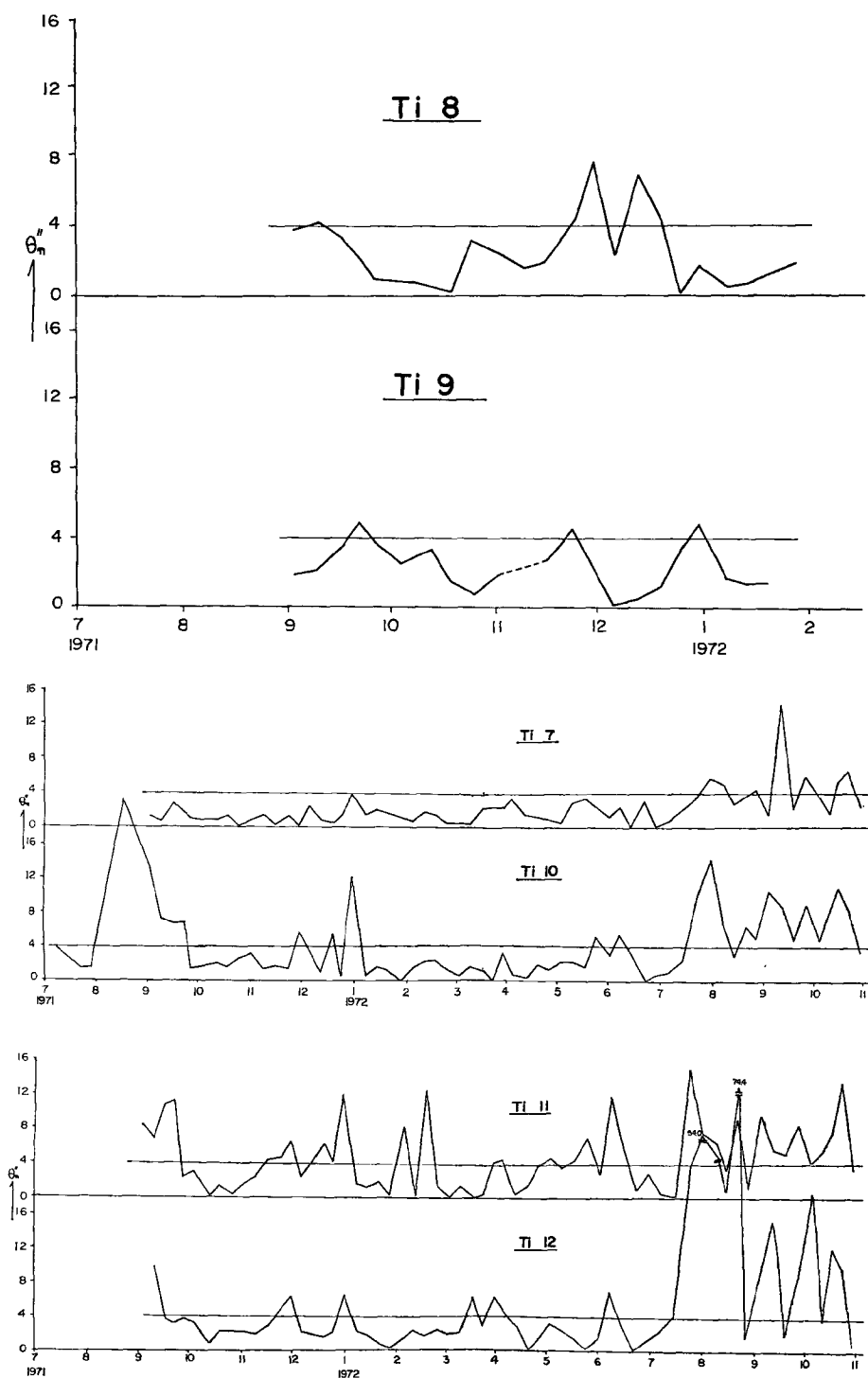


Fig. 7 b Variations of diurnally mean inclinational movement in each month.

を見ると Ti-7~9 を除いて、いずれも日平均傾斜変動量は $7\sim 19^{\circ}/\text{day}$ の値を示し、丘陵地帯の基底変動量 $3\sim 5^{\circ}/\text{day}$ をかなり上まわった値を示す。このことから当地すべり地は現在もお地すべり性の傾動を行なっていると思いたい。Ti-7~9 は $3\sim 4^{\circ}/\text{day}$ の日平均傾斜変動量を示しているが、この値は本地すべり地周辺の不動地と考えられる場所で測定した日平均傾斜変動量 ($2.0\sim 2.3^{\circ}/\text{day}$) より大きな値を示す。つまり潜在的な地すべり性傾動を示していると考えられる。Ti-3, 4, 12 は $10^{\circ}/\text{day}$ を越える値を示しているので特に注目する必要がある。

7-2-2 基底累積傾斜速度について

各傾斜計の全期間を通じての基底累積傾斜速度 (θ_b) について検討した後月に別算出した θ_b について検討する。

全期間を通じての θ_b は Table 3 の θ_b の項に示してある。一般に θ_b は平地で $1^{\circ}/\text{day}$ 、山地で $1.5^{\circ}/\text{day}$ と云われており、これより大きな値を示す時は地すべり発生の前兆として警戒する必要がある、近い将来それが活発化する可能性が強いと考えられている。しかも傾斜累積方向 (ϕ_b) が斜面と同一方向の場合は $1^{\circ}/\text{day}$ 以下でも地すべり活動は活発化する可能性がある。そこでこのような数字を考慮して当地すべり地の θ_b を見ると Ti-2~6 及び Ti-10~12 の θ_b は $1.5^{\circ}/\text{day}$ を越えており、地すべり活動の活発化する可能性のあることを示している。一方当地すべり地周辺の不動地と思われる所で測定した資料を基にして θ_b を求めると $0.546^{\circ}/\text{day}$ となっている。この値を Ti-1 及び Ti-7~Ti-9 の θ_b と比較すると、後者の方が大きな値を示している。この点から考えると Ti-1 及び Ti-7~Ti-9 は不動地というのではなく潜在的な地すべり性活動の可能性を秘めていると考えてよいと思う。

次に月別に、 θ_b の変化状況を求めると Fig. 8 a~c に示すようになる。

図に示した各傾斜計の基底累積速度についての結果をまとめると、1971年8月、11月~12月、1972年7月~10月に各傾斜計に共通して見られる変動期が存在する。この変動期は7-2-1でのべたように1971年8月及び1972年7月~10月は梅雨及び台風期の降雨によるものと考えられるが、1971年11月~12月は降雨とはあまり関係のない変動期である。又各傾斜計を設置した土塊の変動状況には動・静の差のはっきりしたもの（例：Ti-2, 3, 10）と常に変動をしているもの（例：Ti-4, 5, 11）とがあることが判った。

次に月別に求めた基底累積傾斜速度とその傾斜方向の変化状態について検討する。Fig. 9 a~c に示したものがそれで、これらの図から各傾斜計が時間的にどのような変動を行なったかを知ることが出来る。

Fig. 9 a~c に示したように常に一定方向に傾動する傾斜計（例：1, 2, 8）と逆にある方向へ向かってはいるが、それと直交する方向にシーソー運動を行なう傾斜計（例：Ti-5, 7, 9, 11, 12）、あるいはある方向に向かってそれと一致する方向にシーソー運動を行なう傾斜計（例：Ti-4, 6, 10）の三種類の型が存在している。一般に地すべり下部にシーソー運動を行なう傾斜計が多い。

Fig. 1 に1972年10月現在の傾斜方向とその大きさを示したが、これを見ると Ti-1, 2, 4~6 は地すべり方向と同一方向に傾動しており、他はかなり乱れた方向に傾斜しているようである。

7.2.3 降雨との関係

伸縮計の資料と降雨とを対応させたところ約1カ月後に降雨の影響が伸縮量に表われることが推測された。そこで傾斜変動量についても月間雨量と月間傾斜変動量との相関性を求めたところ、Ti-3~Ti-6 は当月の降水量と有意性ある相関性を有するが、Ti-1, 7, 9, 12 は1カ月後さらに Ti-8 は2カ月後、Ti-2, 10, 11 は3カ月後の傾斜変動量と有意性ある相関性を有することが示された。場所的には下部土塊上部と上部土塊中央部はもっとも速く降雨の影響をうけて傾動し、その後上部土塊上部及び下部土塊中央部と下部が傾動を起こし、最後に上部土塊下部が傾動を起こすという形態になっている。

7.2.4 ま と め

小さな地すべり地内に20mのグリットを設けてその交点に傾斜計を設置し観測を行なった。資料を解析した結果、各観測点により降雨の影響の仕方が異なり又、傾動方向や傾斜変動量もかなり異なっていることが明らかにされた。このことは一つには50cm四方のコンクリートの土台に設置された傾斜計がかなり小さな面

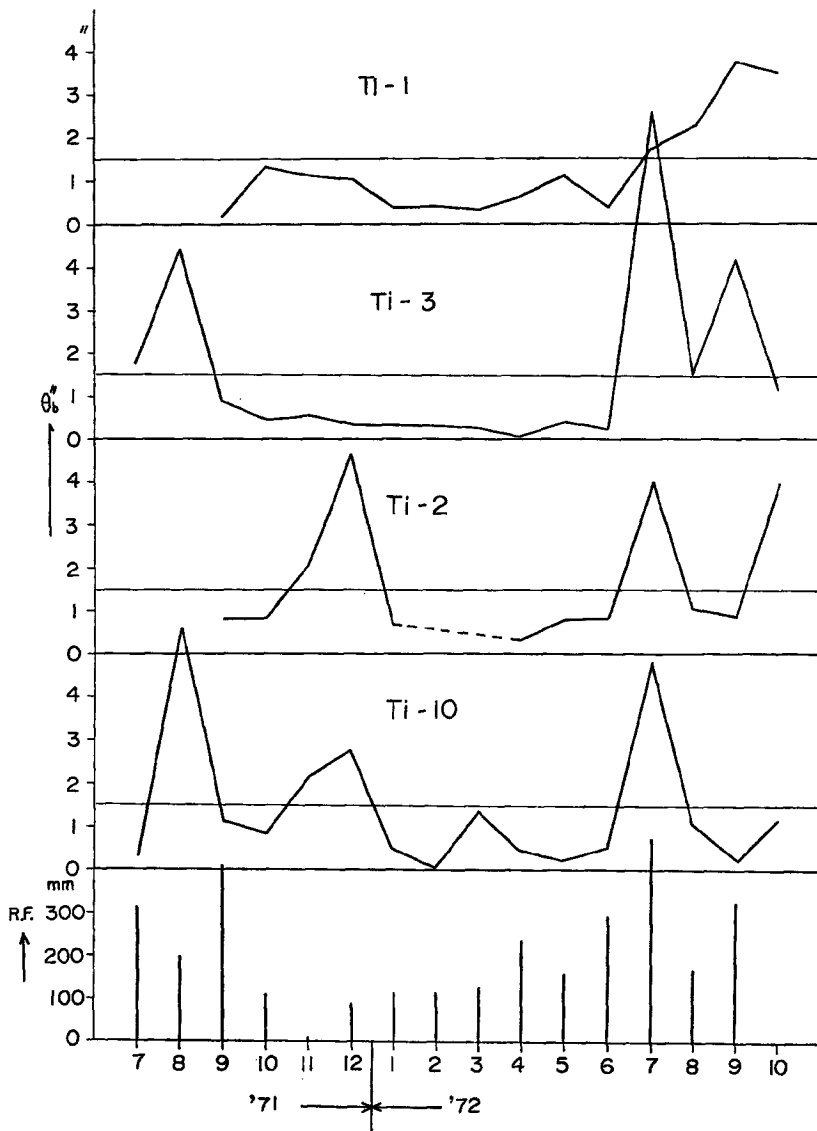


Fig. 8 a Variations of basal accumulative inclinational velocity in each month.

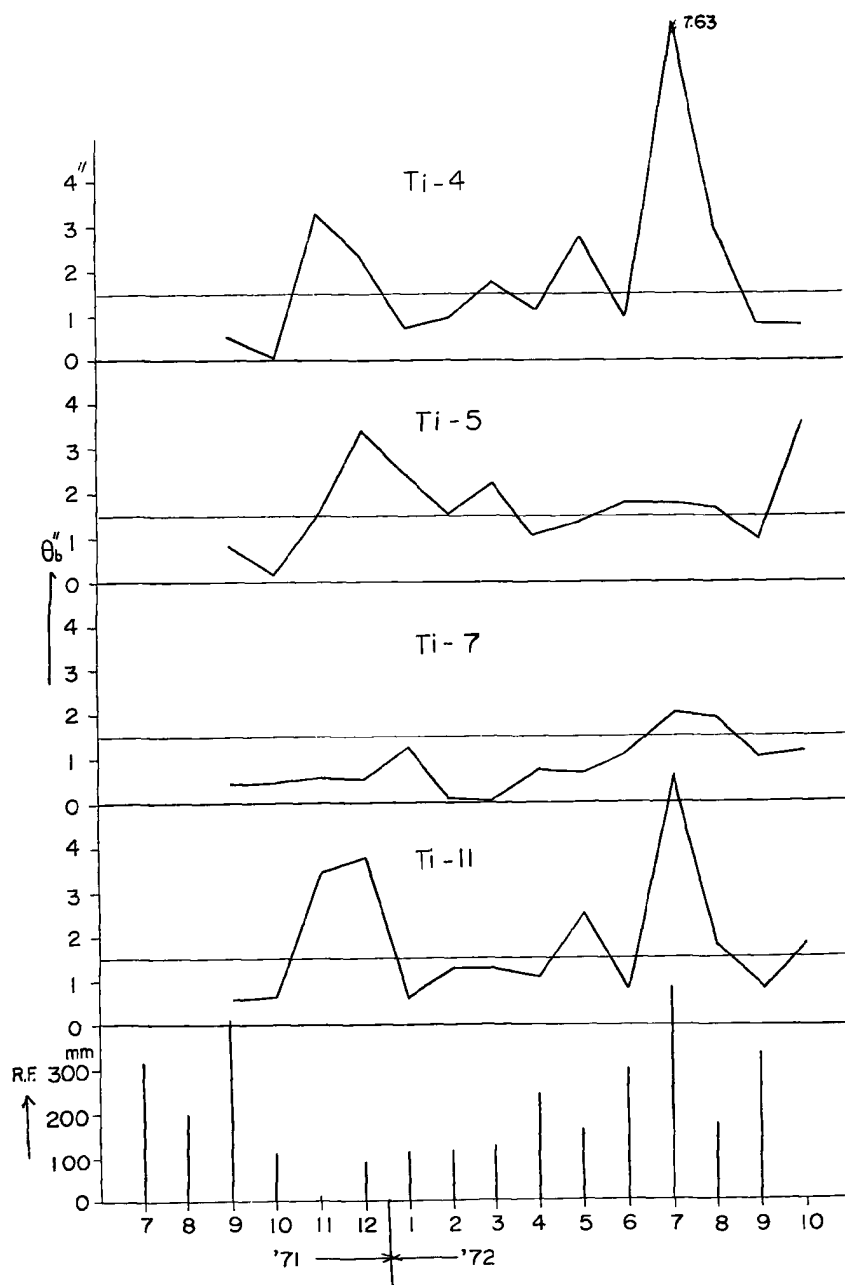


Fig. 8 b Variations of basal accumulative inclinational velocity in each month.

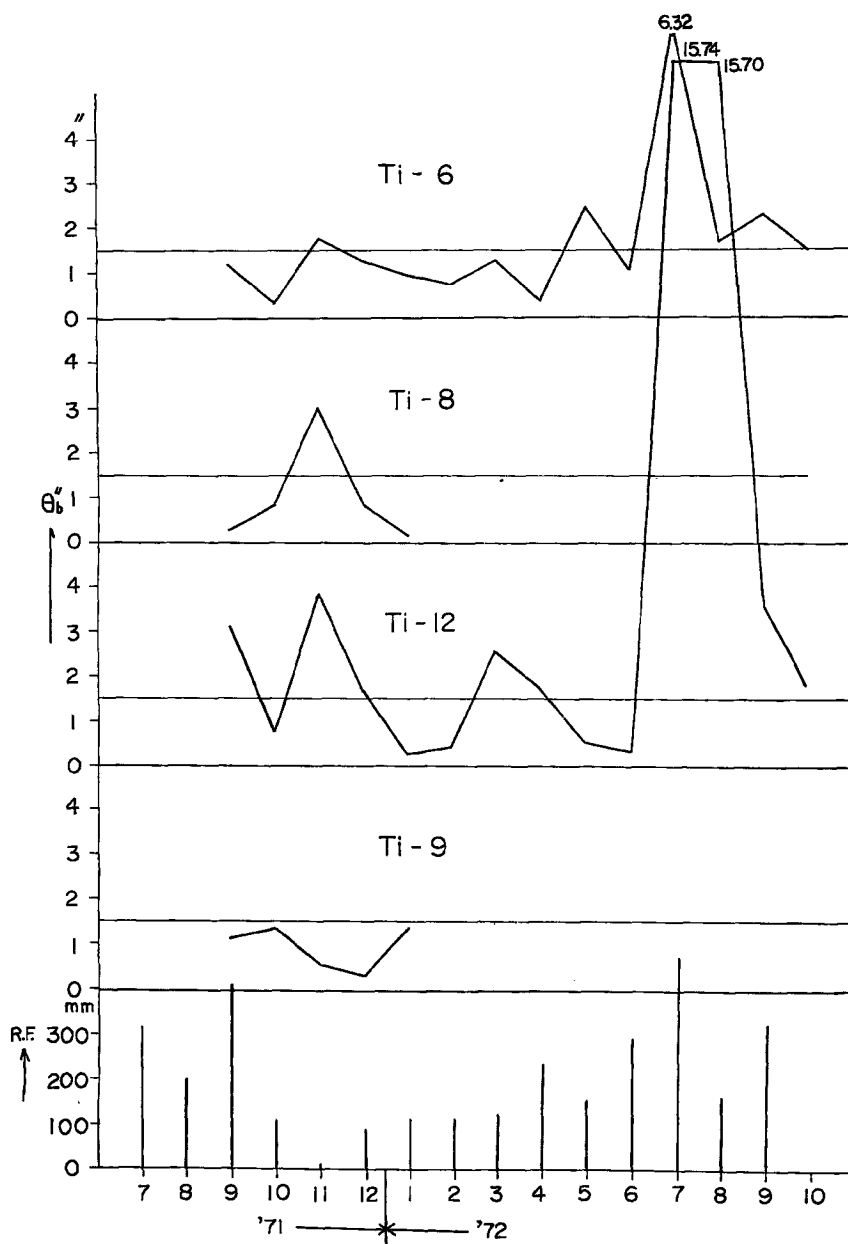


Fig. 8c Variations of basal accumulative inclinational velocity in each month.

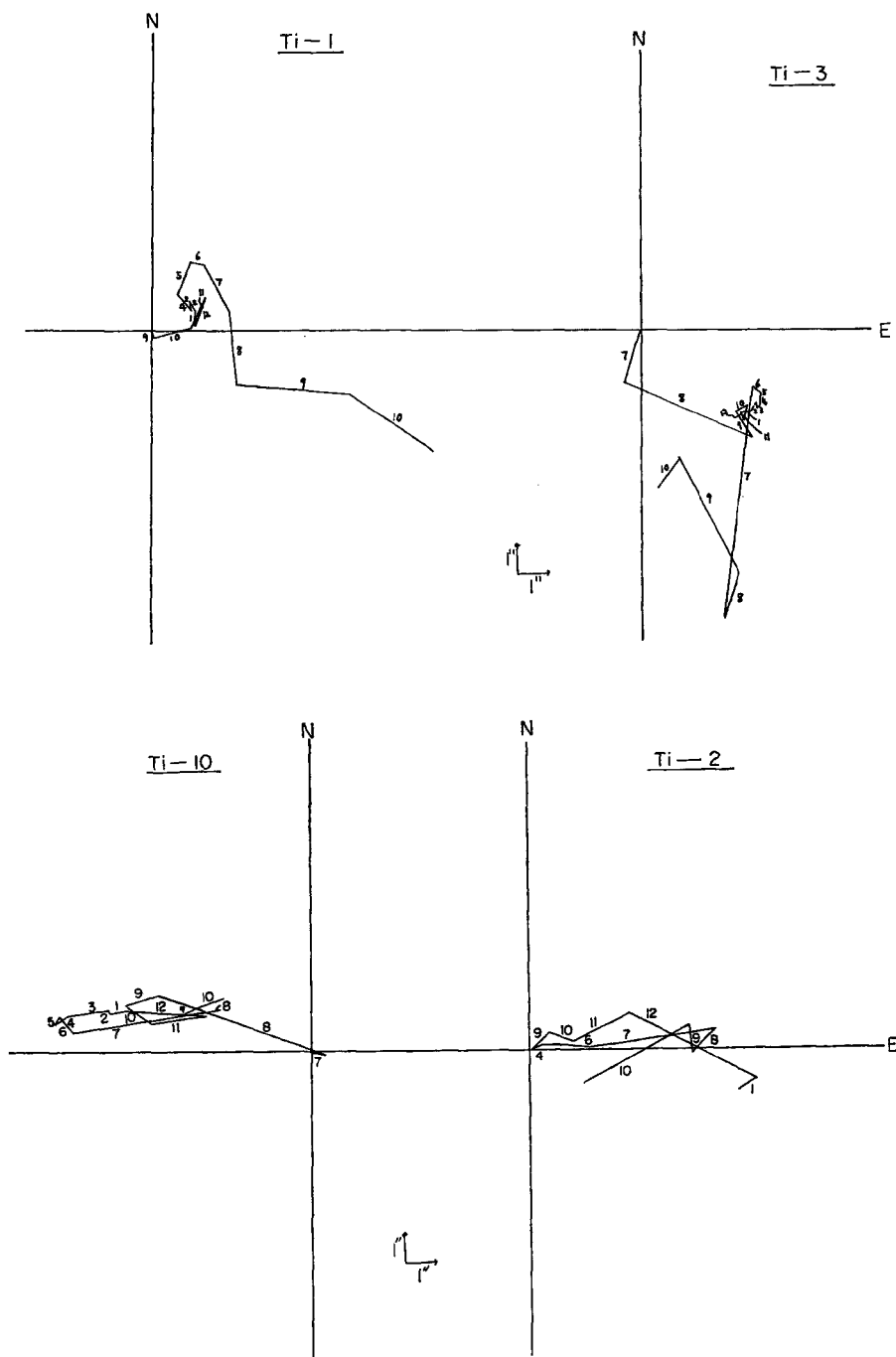


Fig. 9 a Variations of basal accumulative inclinational velocity and inclined direction in each month.

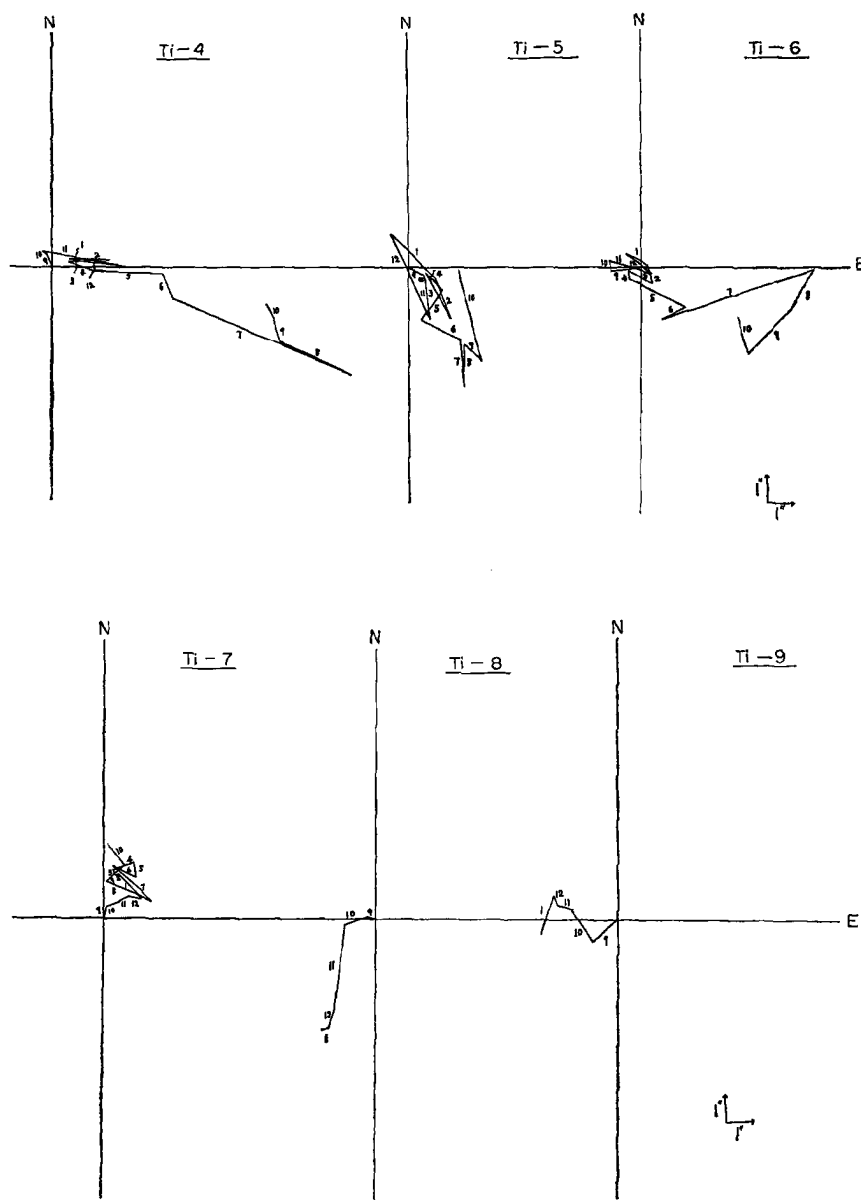


Fig. 9 b Variations of basal accumulative inclinational velocity and inclined direction in each month.

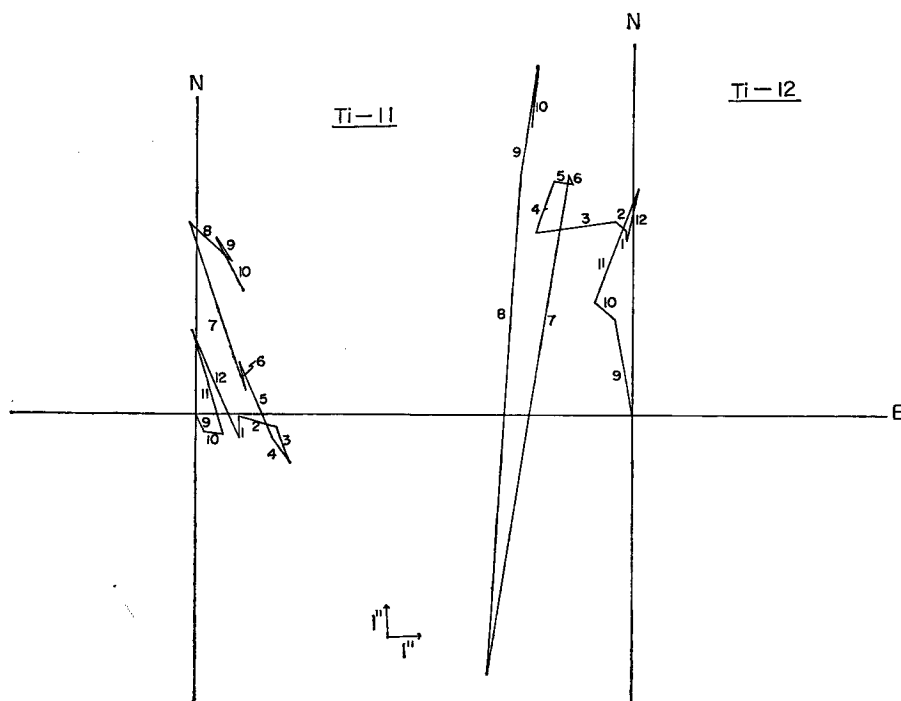


Fig. 9 c Variations of basal accumulative inclinational velocity and inclined direction in each month.

積の土塊の傾動しか表わしていないことによるものと考えられるが、別の見方をすれば小さな地すべりと云えどもその地表面の傾動は一樣ではなくかなり小区域に分割されて活動している、つまりセル状の土塊が集まりあって一つの地すべり地を構成しているのではないかと考えられる。このような場合には現在使用中の水管傾斜計は large scale の傾斜変動をみるには適していないことを示している。いづれにしても地すべり現象を的確に把握するにはかなりの密度で傾斜計を配置しなくてはならないのではないかと考えられるので、筆者等はこの点に注目して後述のような計測器を試作した。

8. 計測器の試作について

昨年度より当地すべり地で観測を行なっているが、この間に得られた資料を解析するに当り現在使用中の計測器を改良又は試作すればかなり精度の高い、定量的な論議にも使用し得る資料が得られるのではないかという考えを抱いた。今回は特に二つの計測器についてそれを検討し、従来のものに代る器機を試作したのでそれを簡単にのべる。

8-1 地すべり用自記式長径水管傾斜計

先にのべた如く当地すべりの土塊変動はかなり小区域に分割されて行なわれていることが明らかにされた。このように小区域にわかれて傾動している土塊に現在使用中の水管傾斜計を設置して観測したのではその設置点近傍の傾斜変動をとらえることはできるであろうが地すべり全体の動きを正確に把握することはむずかしい。そこでこの欠点をできるだけ排除し、観測される面積を大きく取ることが出来かつ自記々録出来るものを作製すればより現実に近い土塊の傾動を把握することが可能になると共に他の自記式観測器との対比も可能になり、地すべり土塊の移動機構の定量的解析に大きく貢献することになる。

試作器に関しては竹内¹⁰⁾ がすでにのべているためここでは簡単にその原理と観測結果についてのべる。

Fig. 10(a) に示すように現在の水管傾斜計は点Aと点Bの土台の傾斜により生ずる高低差 Δh によって起こる水管内の気泡の移動状況を主脚 (B) を回転させることにより平衡を取り調節された回転量から土台の傾斜量を検出している。そこでこの点Aと点Bの間隔を大きく取ることが可能であれば、地すべり地の規模と比較して面観測と見做し得る傾斜計となる。点A, B間を大きく取する方法の一つとして Fig. 10(b) に示す方法を考えた。点Aと点BにPotを設置し、その間をパイプで接続するのである。Potとパイプにより構成された容器の中に適当な流体（ここでは水）を入れて予じめ平衡を取っておけば、地すべり土塊の傾動により生ずる地表面の変動が $\overline{AB}$ 間に水位差 (Δh) となって表われるはずである。この水位差を何等かの方法（ここでは差動トランスを用いて電氣的に検出する）で検出すればよいことになる。なお現在使用中の水管傾斜計は点AとBを剛体と見なしたコンクリート土台の同一平面上に置いており、この土台の傾動を計測しているが、試作品は各Potはコンクリート土台に別々に置かれており、その間に変動する土塊で剛体的には結合されていない。地殻変動の分野では同一剛体面内に両Potを置いてその傾動を計測しているが、地すべり地の場合は土塊を剛体面としてではなく軟弱な土塊と考えているため、その軟弱な地表面変動を面的に把らえることに意味があるから両Pot間に亀裂による高低差が生じてても別に問題はない。むしろ亀裂が生ずるまでの過程が大切である。要するに両Pot間に何らかの原因により生じた土塊の変動状況をとらえたいのである。この考えを基にして自記式長径水管傾斜計を作製し、当地すべり地の Fig. 1 に示す位置に設置した。(Fig. 1 の N.T.) この付近は土塊変動の最も激しい場所であるが、ここに南北方向に両Potを10mの間隔を置いて設定した。計器の設置方法は通常的水管傾斜計と同様である。両者を接続するビニー

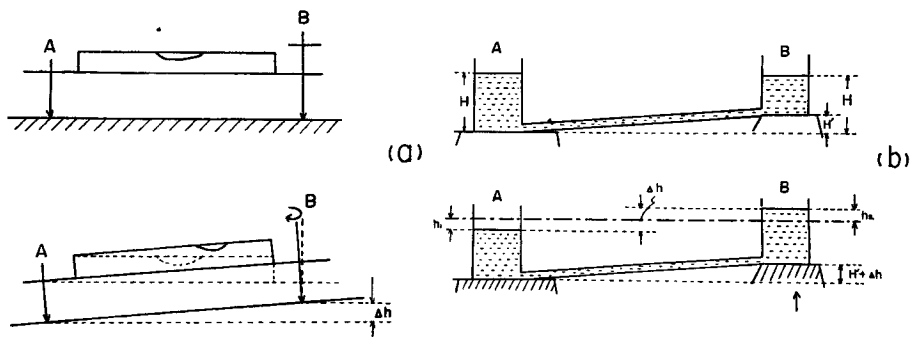


Fig. 10 (a) Diagram of a water tube tilt meter in the past.
(b) Diagram of a recording long water tube tilt meter.

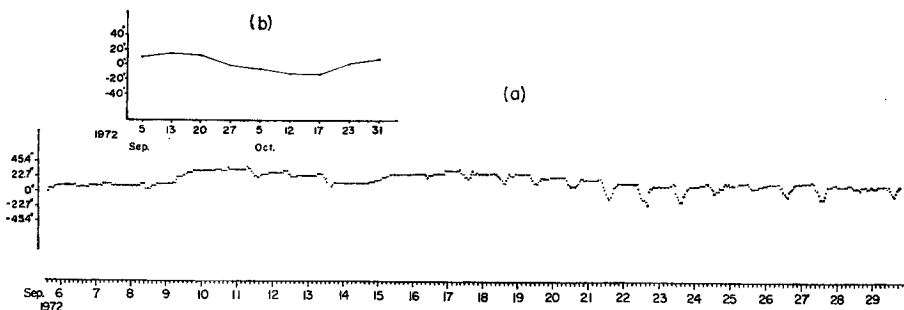


Fig. 11 (a) Record of the recording long water tube tilt meter.
(b) Record of the inspective tilt meter.

ル管は地表をはわせてある。同計測器による観測は1972年8月10日より始められている。その記録の一部を Fig. 11(a) に示す。これを見ると地すべり土塊は興味ある日変動を行ないつつ全体的にはシーソ運動を行なっている様子がわかる。この日変化は傾斜計自身のものでないことは理論的に検討されている¹⁰⁾。本計器の観測結果を検定する目的で本計器と平行に5mの角鉄材2本をつないで設置し、その上に従来の水管傾斜計を置いて比較観測を行っている。それによると傾動方向及び傾斜量共よく一致していることが示されている。(Fig. 11(b)) このように長径水管傾斜計を設置することにより興味ある線的な土塊変動の様子が判ったので今後は2成分に設置して面観測を行なってゆくと共に将来は Grid 状に観測網を設置して地すべり全体の地表面傾動状況を把握したい。

8-2 地中変形測定装置について

今回は地中内部のひずみについてはのべなかったが、得られた資料を整理すると Fig. 12 に示すようになっている。つまり多くの地中内部ひずみ計は表層 (3~4m), 7~9m にすべり層らしきものを把らえている。さらに30mの深さに埋設したものでは上記の他に13~15m及び23m付近と29mにもすべり層らしきものが表われている。そしてすべりの形態は流動すべりを主として示す。

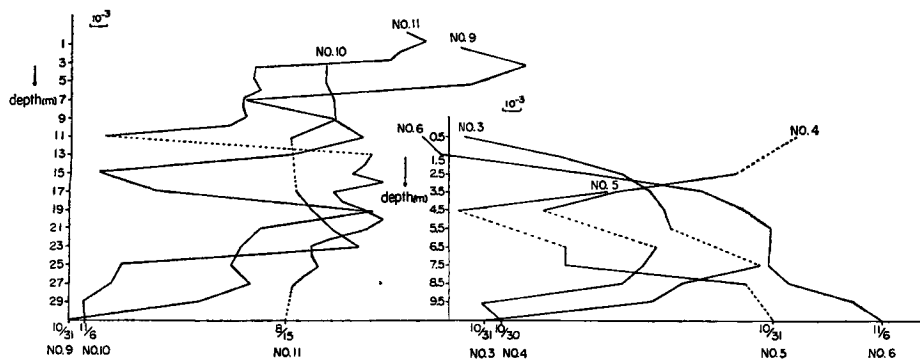


Fig. 12 Observed results by internal strain meters. (1972)

このように地中内部ひずみ計からは土塊内部の変動状況について定性的ではあるが、貴重な情報が得られ、今日まで数多くの成果を挙げて来ている。しかしこのように貴重な情報の得られる地中内部ひずみ計にも種種の欠点が存在する。地中内部ひずみ計に見られるひずみゲージは一般に1~2m間隔にパイプの両側に対で貼付されており、このゲージから3本のリード線を地表に出して、ひずみ量を測定している。この場合一番の欠点はこれらのゲージが何等かの原因で故障し、満足を資料が得られなくなった場合、これを修理することが出来ないことである。次にひずみ量の変化からすべり面又はすべり層の位置の大略の場所は知ることが出来るが、詳細な点を知ることが出来ないと共に、実際の土塊の変動量とひずみ量との関係が貼付したゲージの位置とすべり応力のかかる位置との関係からひずみ量-変動量の関係が異なるため、今日まで種々の努力がなされているがもう一つはっきりしていない。そこで筆者等は地中内部ひずみ計の基本的な原理は生かし、かつ上記の欠点を解決すべく新たに地中変形測定器を試作し、観測してみた。この計測器の詳細は別に発表した¹¹⁾のでここでは計器の概要と計測結果についてのべる。その概要は Fig. 13 に示すようなもので、ガイドパイプとその中に挿入されるプローブとにより構成されている。プローブは適当な長さを有しており中央部で集中的にガイドパイプのひずみを検出するようにしてある。このプローブに挿入用のパイプによるひずみがプローブに伝わらないようにひずみ解放用のバネ板を接続し、それを細い計尺目盛を付けた挿入用パイプに接続する。そしてこの装置を一定間隔 (例えば 10 cm 又は 20 cm) 毎にひずみを測定しながら孔内に下げてゆく。精度を上げるために吊り下げ、吊り上げの両方の時にひずみを測定している。

このプローブを用いて予じめ単位長さ当りのひずみ比例常数を求めておけば、測定結果から土塊の実際の変動量を知ることが出来る。

この装置を用いて当地すべり地内に埋設されている地中内部ひずみ計を利用して計測を行なって見た。その結果を Fig. 14 に示す。

図示したものは N-S, E-W 両方向についてひずみを測定し、これを合成したものでそのひずみ方向と共に示した。これは各ひずみ測定隔毎の単位ひずみ量とひずみ方向を示すものである。

No. 3: このひずみ計は従来のものによると 1.5m 付近と 5.5m ~ 9.5m の間にすべり層らしきものを把らえていた。今回の測定によると、4.3m 付近及び 5.5 ~ 7.3m にかけて常に同一方向にかなりのひずみ量が発生していることが判る。又 7.3m を境にしてそれ以深では逆方向の小さなひずみが出ているが、これは上層部の変動の

Fig. 13 Diagram of internal deformation meter.

1. Pipe for insertion, 2. Spring plate,
3. Socket, 4. Pipe, 5. Vinyl chloride plate,
6. Strain gauge, 7. Guide pipe.

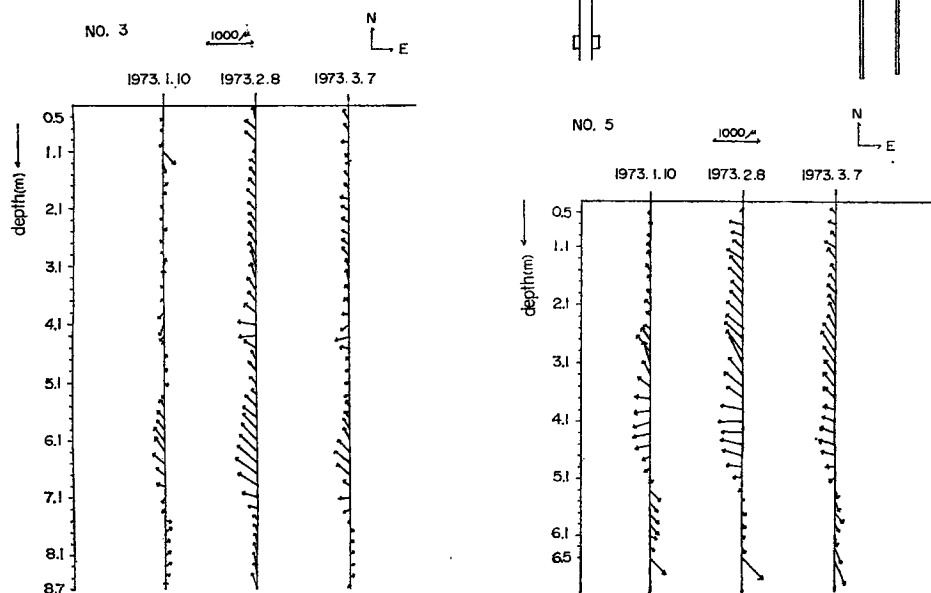
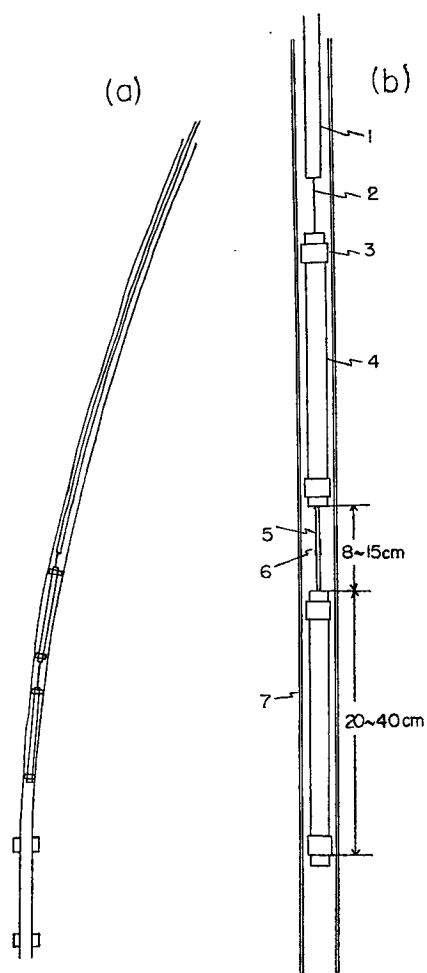


Fig. 14 Results by the internal deformation meter.

反動として表われていると考えられる。これらの値を最下部より累積すると最上部で 532μ のひずみとなっており、その方向は N-49-W (1973. 3. 7) である。全体的には 6~7m に主応力層をもつ流動的な変位を示している。この傾向は時間的にみても変化していない。

No. 5: これは従来の観測結果によれば 7m 付近及び 4~3m にかけてすべり層が把らえられているようである。今回の測定によると、地表から 5.1m までは主として W-NW 方向のひずみを発生しており、それ以深では逆に SE 方向のひずみとなっている。この場合も 5.1m を境として上部 3~4m に主応力をもつ流動すべりにより N-W 方向のひずみが発生しており、その反動としてそれ以深で S-E 方向のひずみが生じたものと考えられる。1973 年 3 月 7 日現在で累積ひずみは 4854μ でその方向は N-56-W である。

この他のひずみ計については No. 6 は Fig. 12 に示すように 1~3m で非常に大きなひずみをうけており、パイプ変形のためにプローブが 3.1m 以深に挿入出来なかった。No. 10 は 6.0~6.2 (S-W), 6.6~7.2 (S-E) 8.0~8.2 (S), 10.2~10.4 (S-E), 21.0~22.2 (E~S-E), 22.4~22.6 (S-W), 23.0~23.6 (S-E), 23.8 (S-W) に各々大

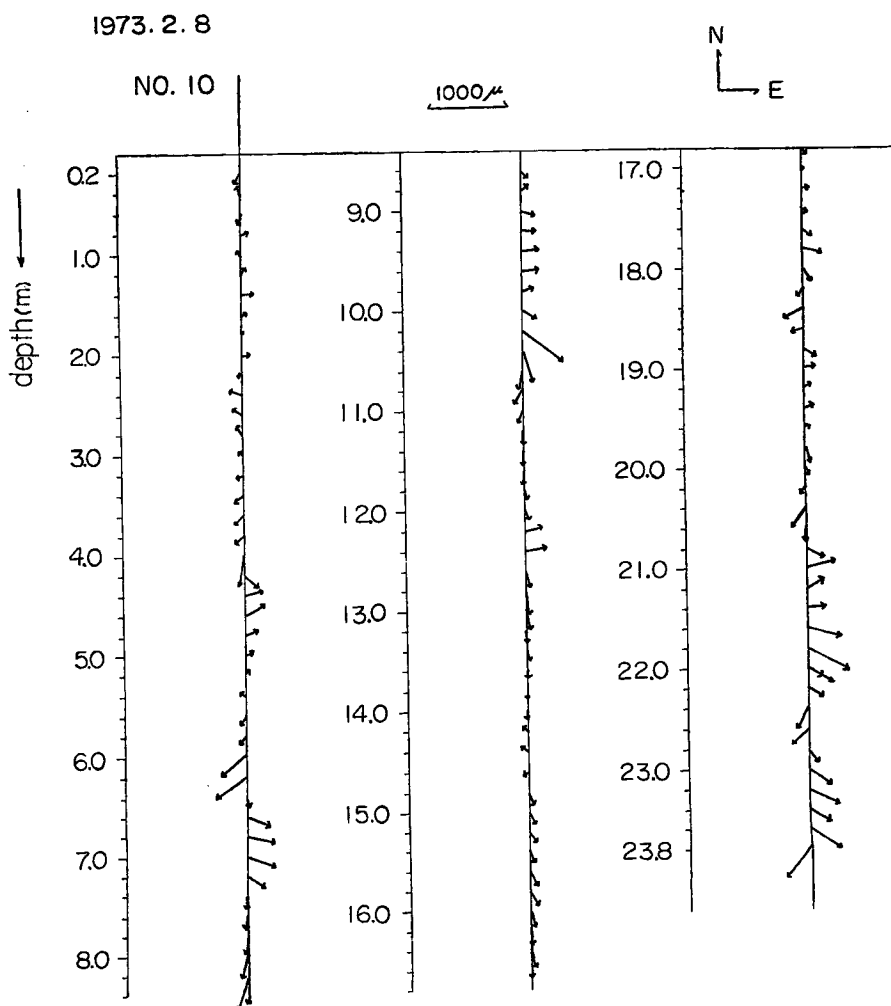


Fig. 15 Result by the internal deformation meter.

きなひずみを発生しており (Fig. 15) これは従来の観測結果とも類似している。特に20.4~23.8mのかけの大きなひずみは注目に値する。この深さにおけるひずみ発生は No. 9 で19~23m 又は27~29m, No. 11 で20~23mと類似した深度でひずみが発生しているため、当地すべりはこの深度においても地すべり層らしきものが実在する可能性もある。なお No. 10 は23.8m以深はパイプ変形のためプローブが入らなくなっている。

地中変形測定器を用いることにより従来の観測結果により推定されたすべり層及びその型を確認することが出来ると共にそのひずみ発生方向も確められる点は本計器の特色であろう。今回はまだ測定回数が少ないために定量的な解析は充分行なわなかったが、今後資料を増すと共に定量的解析を行なってゆきたい。

9. 結 語

一つの試みとして新しい観測体系に基づいて伸縮計、傾斜計を配置して、その観測結果について述べた。従来の観測体系に基づく観測はあくまでも地すべりの暫定的な予知（主として2次の活動に対するもの）、地すべり防止工事に伴う土塊変動の把握等に重きを置いているため、大略の土塊変動についてはある程度の情報を得ることが出来たが、定量的な解析を行なうには不適當と思われる。今回の観測結果によれば当地すべり地のように小さな地すべり地でも決して一様な動きはしていないことが示された。つまり傾斜計は20m Grid に配置したが、各傾斜計共各々傾動方向が異なり、降雨の影響の表われ方もまちまちである。又伸縮計も地すべり上部より連続的に設置したが、いづれも縮みを示し、仮不動地と見做した所よりさらに上部まで地すべり活動が及んでいることを示すと共に、全体が一様な動きをせずに局部的に伸縮を行なうことが判った。

以上の諸観測結果と今回の調査までに得られた情報から現在の地すべり活動を推測すると次の如くなる。

当地すべり地は地形的に見て集水面積は非常に狭く又地すべり地内には表流水の流出する河川は全く存在しない。降った雨は殆んど地中に浸透するか又は蒸発するかにより排出されている。従って地すべり地内にある二つの平坦面は常に地下水位が非常に高く（-10~20cm）、少しの降雨でも冠水状態になる。一方地すべり防止工事の一つとして施工された集水井2基の排水状況を見ると、地下5mと10mで横孔試錐を行なって水を抜いているが、その排水量は季節的にもあまり変化はない。（I号井で10~8l/min, II号井で35~32l/min）しかも深部10mの横孔試錐から主として排水されており浅部の水はあまり排出されていない。一方すべり面調査結果によると5~9mに主としてすべり面又はすべり層が存在していることが示されている。このため集水井で取り除いている水は直接地すべり活動に関係あるものではなく地下10~12mにある泥岩層にはさまれた砂層の水を抜いていることになる。すべり層に直接影響を与えている水は殆んど排除されていないようであり、この点は4m堀った地下水位観測孔の水位が殆んど変化していないことからもうかがえる。とすると現在排水されているものは今回のすべり層調査で判明した20m以深のすべり層に対してはある程度効果はあると考えられるが、浅部の動きを止める効果は殆んどないと見てよいであろう。地すべり活動を左右しているのは集水域内の降水が徐々に地中に浸透した表面水ということになる。地表より地すべり層まで地表水が徐々に浸透してゆき、その結果土中の含水比がたかめられ、粘着力及び粘性係数が低下し伸縮計に示されているような緩慢な餡状すべりを行なっているものと推測される。

今地表面からすべり層底部までを構成している粘土及び泥岩の滲透係数を $2 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ と仮定するとすべり層に地表水が到達するには約1カ月を要する。つまり地下水の影響のみでなく地表水の影響が大きいと考えるとかなり諸観測計器の記録結果と合うことになる。

今後はすべり層までの水と集水井の水との化学的な相異を検討すると共に、現在の観測網を整備して南西方向の地すべり土塊にまで拡大し、資料を蓄積すると共に地中変形測定器の資料を基にして土塊の粘性係数を算出するなどして、地すべり活動状況を餡状土塊型移動型態と見做して理論的な解析を行なう方向に行きたい。

なお多量の資料を処理するに当っては京都大学大型計算センターの FACOM 230-60 を使用しました。

おわりに図面, 文章の清書をして下さった倉内洋子氏に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 山口真一・高田雄次・竹内篤雄: 串林地すべり地について, 京大防災研究所年報, 第12号 B, 1969. 3, pp. 25-45.
- 2) 防災協会: 雄琴地区地すべり調査報告書, 昭和43年, 昭和44年, 昭和45年
- 3) 高田理夫: 地すべり地における土地ひずみの観測測(III), 京大防災研究所年報, 第10号 A, 1967. 3, pp. 491-504.
- 4) 中村浩之: 伸縮計観測よりみた猿供養寺地すべりの運動特性, 地すべり, Vol. 9, No. 1, 1972. 7, pp. 1-8.
- 5) 谷口敏雄: 地すべり移動に及ぼす降雨及び地下水の影響.
- 6) Kawamoto, O.: A Study on Diurnal Variations of the Ground Strain Observed in Landslide Zones, 大阪工業大学紀要理工篇, 第16巻, 第1号, 1971. 6, pp. 1-37.
- 7) 川本 整: 亀の瀬地すべりの研究(1)——移動量と降雨量との関係について——, 地すべり, Vol. 2, No. 3, 1966. 5, pp. 1-4.
- 8) 渡 正亮: 地すべり調査における水管傾斜計の利用方法, 土木技術資料, No. 1, 1960, p. 425.
- 9a) 高田雄次: 地すべり地の傾斜計測観測, 京大防災研究所年報, 第14号 A, 1971. 4, pp. 523-531.
- 9b) 高田雄次・小西利史: 地すべり地の傾斜観測, 京大防災研究所年報, 第13号 A, 1970. 3, pp. 531-539.
- 10) 竹内篤雄: 地すべり用自記式水管傾斜計の試作について, 第9回災害科学総合シンポジウム講演論文集, 昭和47. 10, pp. 131-134.
- 11) 島 通保・竹内篤雄: 地中内部ひずみの測定方法について, 地すべり, 投稿中.