

串林地すべり地における土地ひずみについて

島 通 保・竹 内 篤 雄

ON THE GROUND STRAIN IN KUSHIBAYASHI LANDSLIDE AREA

By Michiyasu SHIMA and Atsuo TAKEUCHI

Synopsis

The authors resumed the geophysical observations of soil mass movement in the Kushibayashi landslide area located in Ogoto town, by internal strain meters, extensometers and tiltmeters from July, 1971. Particularly, we were interested in detailed surveies of features of the distributions of tilting and extention of the ground surface, and investigated the relationship between the state of movement of the ground surface and the form of the slip plane by finite element method in elastic theory of plane strain. Then, we presumed the form of the slip plane from the distributions of tilting and extention, as shown in Fig. 7.

1. 序

串林地すべりは、昭和42年6月21日活動開始後、7月7日より地中内部歪計・地下水位計など各種の計器観測が始められ、その結果は3回にわたる報告にまとめられている^{1),2)}。その結果を要約すると、急激な土塊移動は一応7月下旬に納り、その後は降雨の影響による動きが、伸縮計・地中内部歪計などに於て見られる程度であった。昭和43年に入ると、8月～11月にかけて地中内部歪計に変動がみられたが、地下水排水工事が行なわれるとともに、その変動も見られなくなった。このことから、一応活発に動いた土塊は、その後地下水・降雨による水の供給に対し敏感に反応することがわかる。昭和44年にはさらに、地下水排水工事が行なわれたために、土塊は降雨の影響に対してもほとんど反応を示さなくなり、ただ非常に緩慢なクリープ現象が観測されるのみであった。これら計器観測は昭和44年11月で打切られており、今回観測再開まで、約一年半の空白がある。この間に集水井の排水能力の低下、さらに排水試験孔の排水能力の低下が見られたが、それが地すべり土塊に対しどのような影響を与えているのかを検討することができずにいた。

今回、昭和46年7月より、串林地すべり地の地すべりの移動形態の観測を再開して、昭和44年12月以後の当地すべり地の地下水の排水条件の変化の影響を調べるとともに、前回まで余りよく調べられていなかった地表面の変動を詳細に調べることにした。すなわち、昭和46年7月まで、約一年半の間休止されていた地中内部歪計によるすべり面における移動の観測をほぼ同数、同一地点で再開するとともに、あらたにFig. 1のNo. 11の地点に、30 mのボーリングを1本掘り、その深さまで地中内部歪計を設置して観測を続けることにした。また、地表面の変動について詳細にその状況を把握するため、Fig. 1に示されているように、伸縮計・傾斜計を数多く配置した。これは(1)これまでほとんど手をつけられていなかった地表面の歪・傾斜量の分布とすべり面の形状との間の定量的関係を究明すること、(2)傾斜量の分布から、すべり面の深さ・形状と最低限必要な傾斜計配置密度との間の関係について、有益な示唆を得ることにあった。

2. 地 盤 調 査

前回において、電気探査、貫入試験による調査が行なわれ、すでに大略判明しているが、今回さらに上部

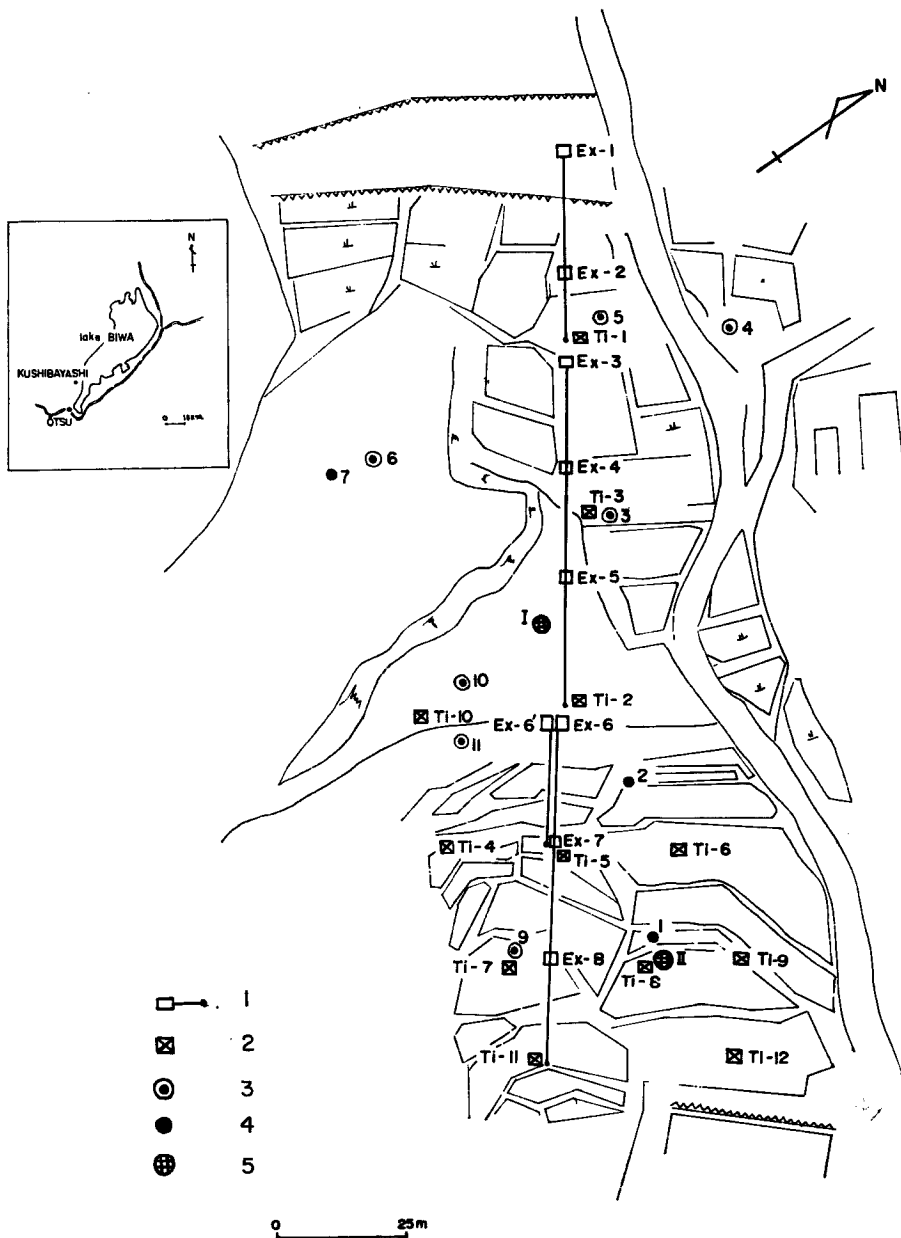


Fig. 1 Location of instruments and points of measurement.
 1. extensometer, 2. tiltmeter, 3. internal strain meter, 4. boring hole,
 5. draining well.

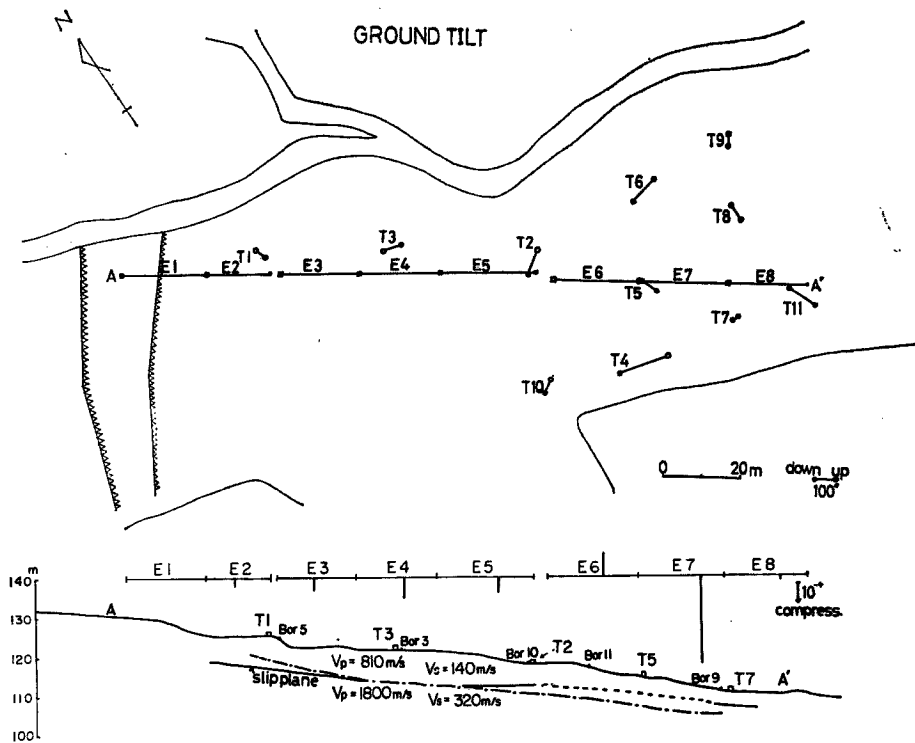


Fig. 2 Ground tilts and surface strains (Aug. 18 to Sept. 10) and geological section along the survey line.

および下部において、 P 波および SH 波による弾性波探査を行って、表層および基盤層の弾性波速度の分布を求めFig. 2に示してある。貫入試験によって明らかにされた N 値10以上の基盤層と表層との境界は S 波伝播速度の不連続的な変化($130\text{ m/s} \rightarrow 340\text{ m/s}$)によって明瞭にとらえることができた。しかし P 波は表層の含水の影響を強く受けるため、地下水位が表面近くまで達している湿地部では、表面から基盤層に向かって 800 m/s から 1800 m/s まで連続的に増加するため、このような場所では P 波速度によって基盤層との境をとらえることは困難であった。通常砂質では P 波速度は水の飽和によりほとんど不連続的に 1500 m/s まで増加するが⁹⁾、この地のいわゆる古琵琶湖層的な粘土では含水比と P 波速度の関係はかなり複雑である。

また今回ボーリングしたNo.11のボーリング孔において、貫入試験の外、電気検層も試みた。Fig. 3に示されているように、粘土層(深さ $0\text{ m} \sim 19\text{ m}$)ではほぼ一定の低い比抵抗値($0.6\text{ k}\Omega\text{-cm}$)を示すが、 19 m より深い砂質土の部分では、それより約10倍高い比抵抗値を示すことが明ら

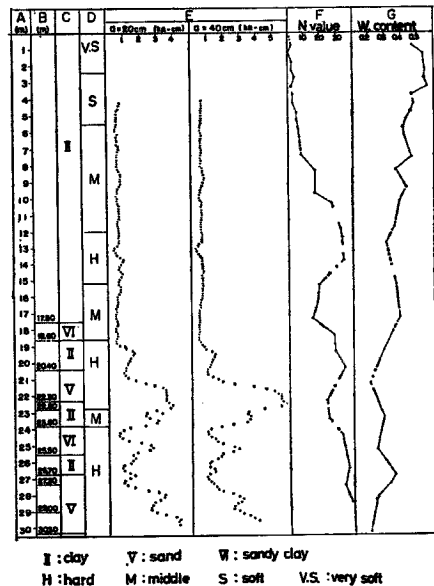


Fig. 3 No. 11 boring profiles and distributions of electric resistivity and N -value.

かで、土質による違いの著しいことを示す。しかしながら、 N 値が 10 以上になる深さ約 8 m の基盤との不連続では比抵抗値の変化は少ないから、ここでは比抵抗値によって、この不連続面を見出すことは困難のようである。

3. 移動に関する変動量の調査

(1) 地中内部歪計による観測

Fig. 1 に示されている No. 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11 の 7 カ所において、すべり面の深さおよび移動量を調べ、Fig. 4 に示しておいた。上部から下部に向かって説明すると、

No. 4, No. 5

比較的接近して設置されているが、これらの地点ではすべり面は深さ 4 m ~ 5 m の比較的浅く、表層中にあるようであり、その変動は 7 月から 9 月にかけて大きい。その他基盤との境界に一致する深さ 8 m 付近にもあるが、この方の変動量は小さい。

No. 3

この位置ではすべり面は深さ 7 ~ 8 m にあり、基盤とほぼ一致しており、7 月以後継続してすべり量は増大している。またこの付近で表層に関するすべり面は最も深い。

No. 10

深さ 10 m までのすべり量は比較的少ないようであるが、8 月 ~ 9 月の降雨期に深さ 5 m の所にすべり量の増大がみられる。

No. 9

今回測定できたうちの最下部に設置されたものであるが、深さ 4 m 前後に 8 月 ~ 9 月に歪の増大したすべり面がみられる。

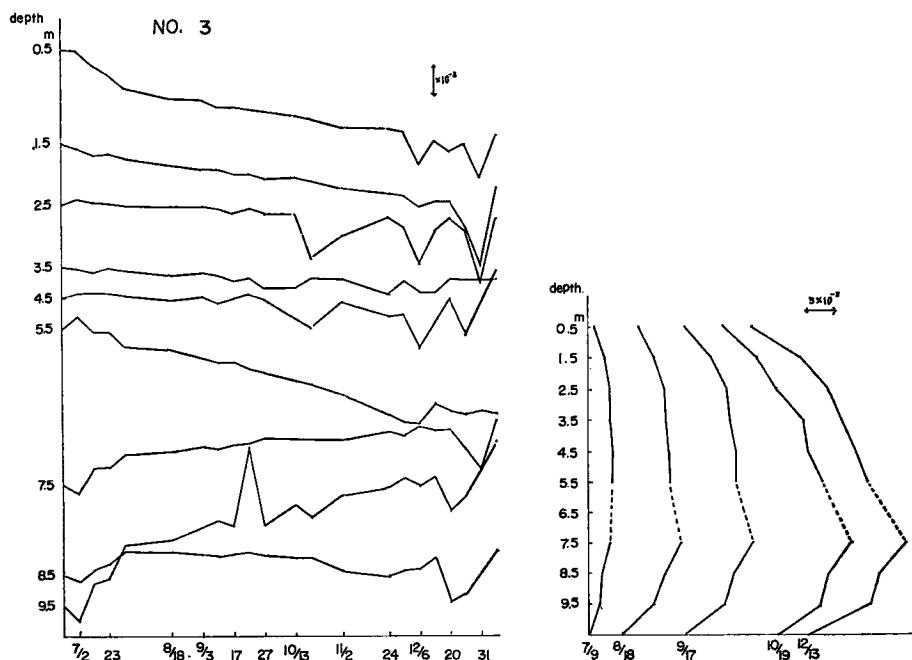


Fig. 4a Variations of internal strain and accumulated internal strain at No. 3.

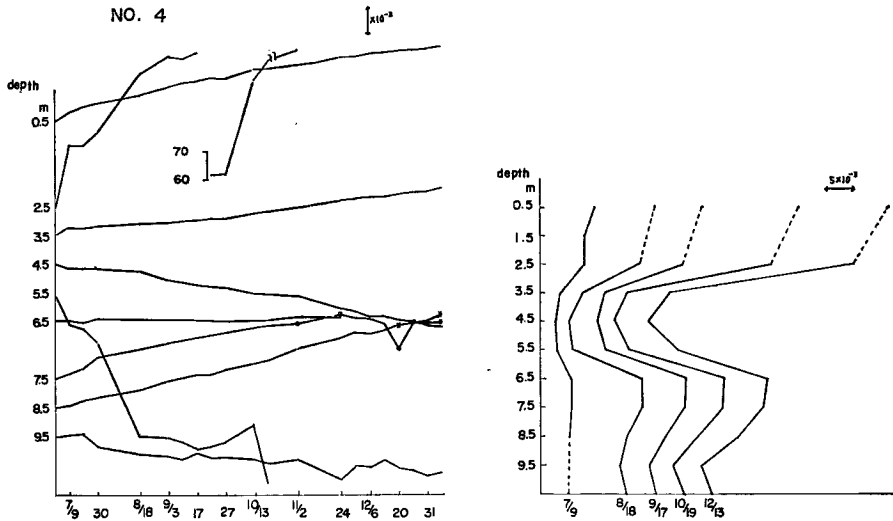


Fig. 4 b Variations of internal strain and accumulated internal strain at No. 4.

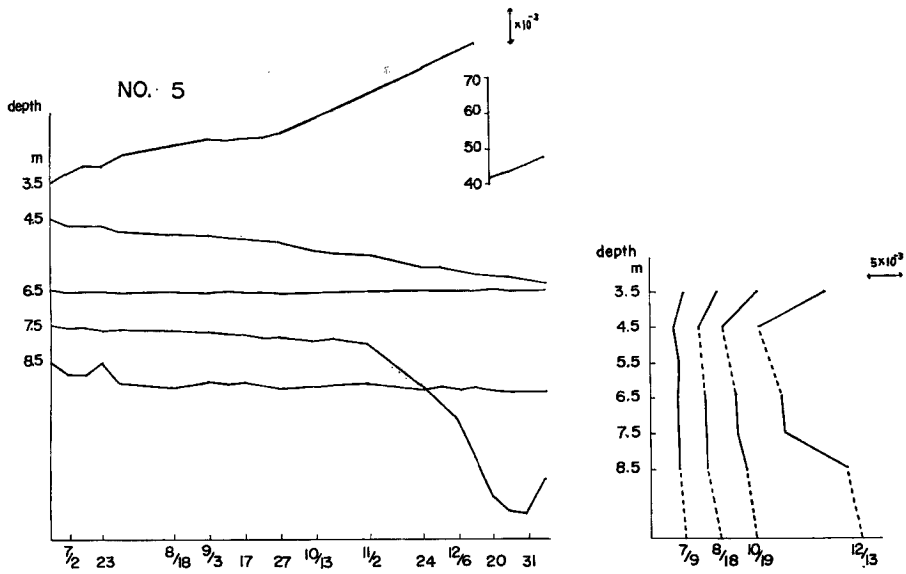


Fig. 4 c Variations of internal strain and accumulated internal strain at No. 5.

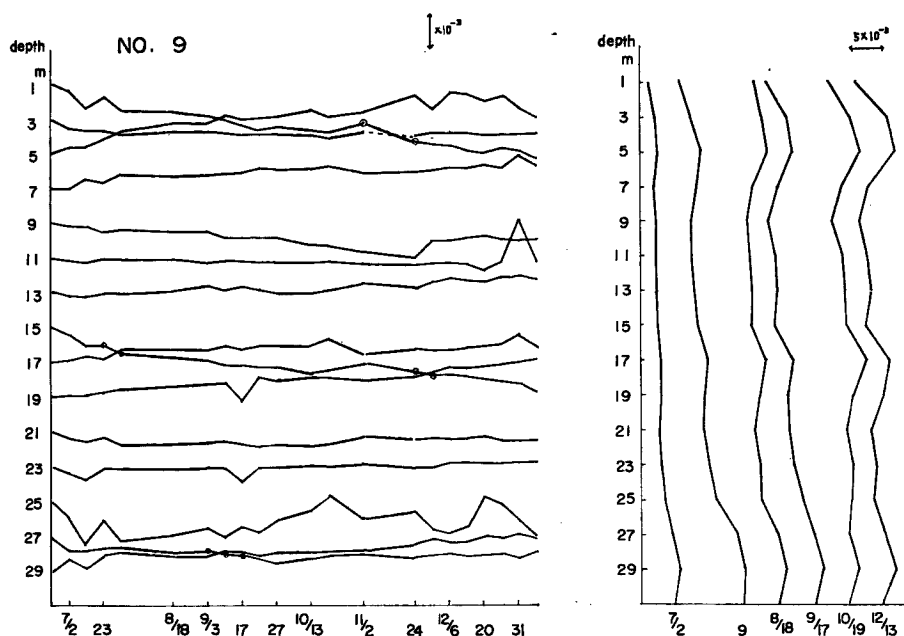


Fig. 4 d Variations of internal strain and accumulated internal strain at No. 9.

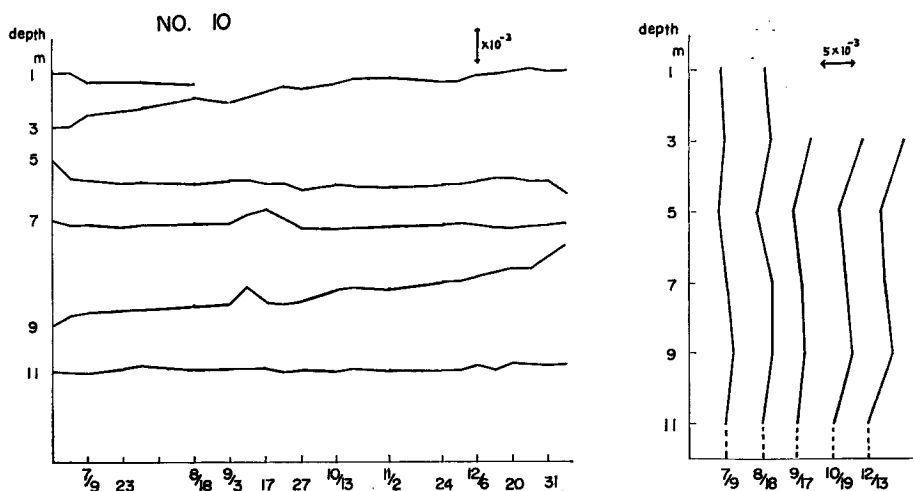


Fig. 4 e Variations of internal strain and accumulated internal strain at No. 10.

以上降雨期であった8月中旬～9月中旬に重点をおいてみたすべり面の位置を連ねると Fig. 2 の縦断面におけるものようになり、基盤面に一致するか、それよりやや浅い深さにすべり面がみられ、降雨期にやや大きな変動量がみられるようである。この外にも、深さ 20 m までの間にもう 1 つ程度のすべり面がみられるが、串林地すべり地の土塊が岩質でなく、粘土・砂の土質的なものであるため、クリープ状の 2 次的なすべり面の発生と解される。

(2) 伸縮計による観測

倍率5倍の伸縮計8台を Fig. 1 に示されている位置に、上部から下部に向ってほぼ一直線に、互いに接続して設置し、連続観測を行った。Fig. 5 に示されているように全体としてみれば、余り大きな伸び縮みは現れていないが、ただ8月中旬から9月中旬にかけて、下部の E7 において1ヶ月間に約 $5 \cdot 10^{-4}$ 程度の縮みが現れた。この期間には上部の E4 に縮み、中央部の E6 に伸びが現れているが、主なものは E7 の縮みである。この時期以後多少の伸縮はあるがほとんど停滞的であった。

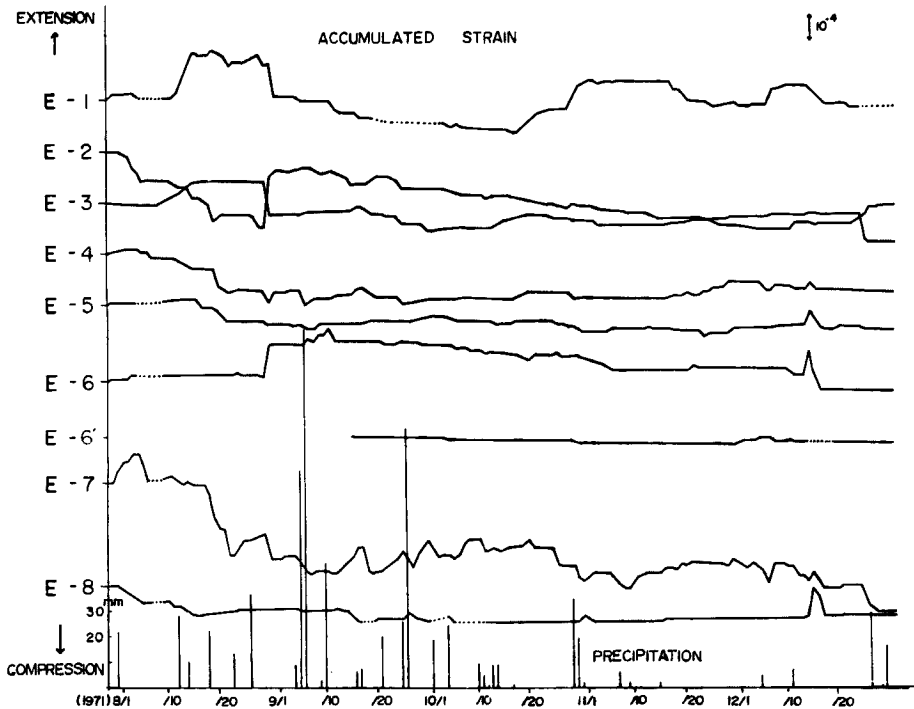


Fig. 5 Variations of surface strain and precipitation.

降雨と伸縮量との関係を見ると、8月中旬から9月中旬にかけて台風を伴った約 360 mm の降雨量があり、この期間に上記のように E7 にかなり縮みが現れた。その後10月～12月の3カ間の総降雨量は 200 mm 程度で、集水井への地下水の流量は少なかった。一方この期間の伸縮量は8台の計器ともわずかで、7月以後の期間、降雨量と伸縮量との間にはかなり密接な依存関係が認められた。

(3) 傾斜計による観測

当地すべり地内の12カ所に東西・南北の2成分の水管傾斜計を設置した。前回のすべり面の形状を参考にして、傾斜計の分布の重点を中央より下部におき、ここでは約 10 m～20 m 間隔に設置してみた。全傾斜計を通じて変動量の比較的大きかったのは、伸縮計の場合と同じく、8月中旬～9月中旬の期間であり、この期間において傾斜計の2/3以上のものがかなり(100''程度)傾いた。その後11月～12月にかけて傾斜変動の現れているものが約 1/3 ある。

地中内部歪計・伸縮計・傾斜計ともに比較的大きく現れたのは8月中旬～9月中旬の降雨期であったので、土地の移動解析の焦点をここにしぼることにする。傾斜量は Fig. 6 のように NS 成分、EW 成分別々に並べて描いたのでは、土塊全体の傾斜の傾向を握みにくいから、上記の期間における全変動量を、各地点ごとに2成分合成して Fig. 2 のように地図上にプロットしてみやすくしてみた。これから明らかなよ

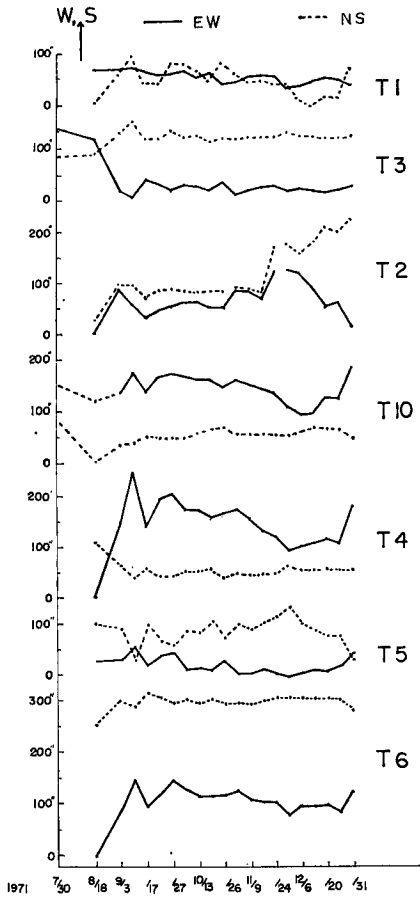


Fig. 6 a Variations of ground tilt.

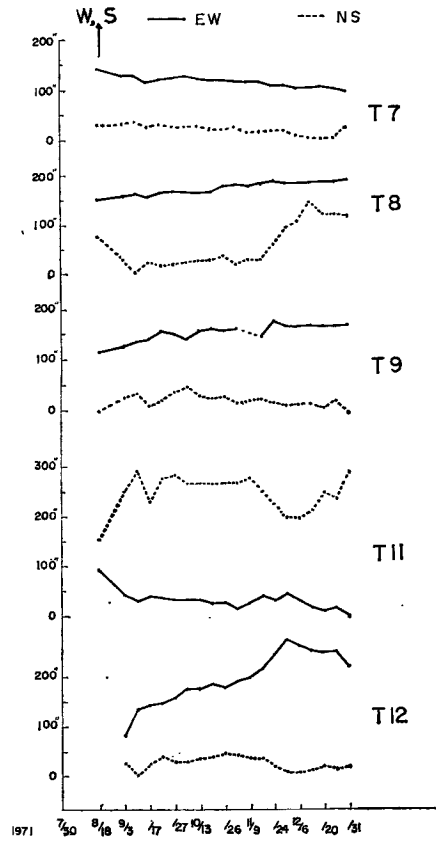


Fig. 6 b Variations of ground tilt.

うに、中央より上部では下方に向って傾いているが、中央より下部では最下点を除き逆に上方に向ってかなり著しく傾いていることがわかる。この傾向はほぼ同一レベルの line 上に2~3台配置された中央より下部の傾斜計にそろって現れていることからみて、確かな事実と考えてよいであらう。

このように中央を境に傾斜変動の傾向が逆になっていることは、この付近におけるすべり面の形状の変化を予想させる。前回の観測においても、傾斜計 T_2 と T_4 の間において、土塊が上下2つの移動区域に分離していることが示唆されている¹⁾。

4. 地表面移動形態とすべり面の関係

中央部より上部では $E4$ の小さい縮みの外は伸縮量は小さく、また傾斜は下部に向って傾きその変動量も小さい。これらの事はすべり面がなお中央部よりかなり下方まで続いていることを暗示している。

ところが中央より下部の $E5$, $E6$, $E7$, $E8$ の区間において $E6$ の小さい伸び、 $E7$ のやや大きい縮みが8月~9月において現われ、同じ時期に $E5$ ~ $E7$ の区間において、上部に向って傾く傾斜変動量は1カ月間に $100''$ 程度のかかりのものである。この事は上部から続いたすべり面が、 $E6$ ~ $E7$ のあたりで、いったん中断的になり、別のすべり面が再び下方に向って始まるか、あるいは現在ではすべり面はここで終端になっているのかも知れない。これらの事は No. 9 の地中内部歪計の歪量が他の地点の歪計より歪量が小さいとい

うことにおよび E8 の伸縮が他の区間に比して非常に小さかったということからも推測される。

ところで地中内部歪計のデーターは No. 10 と No. 9 の間は空白であり、その正確な形状は不明である。しかし、地表面の変動量は相当に綿密に測定されているので、A-A' 縦断面に対し、平面歪の弾性論を適用して、地表面のデーターよりすべり面の形状を推定してみることにする⁴⁾。この方法の詳細は別の所で述べられているので、簡単に要約すると、降雨期におけるクリープのすべり現象はすべり面を含む表層土塊の軟弱化によって起ると考え、一定応力の下でのある一定期間 Δt の間にもたらされる歪の増分とその応力の比を変形係数で表わし、表層とすべり層に対し、それぞれある値を与える。各時点の変形は弾性論によって取扱い、有限要素法の手続きによって数値解を求める。ここではすべり面の形を定めることを主目的にしているので、その形を色々変えて地表面変動量を説明するものを探したが、その他の条件はある仮定の下に数値解析した。たとえば側方からの境界条件としては、E8 の歪に変化のないことを考慮して、上部よりの側圧を静水圧、下部よりの側圧を静水圧の 1.5 倍とした。すべり面のすべりの形態は地中内部歪計の歪量の分布からみて、すべり層の厚さは薄く、0.5m 以内と推定される。底における境界条件として、すべり層より下を完全な不動ととらざるを得ないから、モデル化されたすべり層構造をその中心がすべり面に一致し、その厚さを 1m とし、その底面は不動の基盤層に密着しているとした。今回の期間では表面移動はわずかで測定していないので、移動量からすべり面の変形係数を推定することはできない。そこで下方端が不動であると、対象とした範囲全体にわたる伸縮量の観測値に合致する $E=2500 \text{ ton/s.m}$ を採用した。また表層の土質の変形係数は P 波速度・S 波速度から得られた値の 1/2 の $E=52000 \text{ ton/s.m}$ をとると仮定した。

ボーリング No. 10 と No. 9 の地点のすべり面の深さは観測されているが、その途中は明らかでない。そこでこの 2 点の間の途中の形を、Fig. 7 に点線で示されているように、上部すべり面と下部すべり面の接点を図の範囲にかえて、地表面の伸縮・傾斜の変動量をほぼ説明する実線のすべり面を得た。

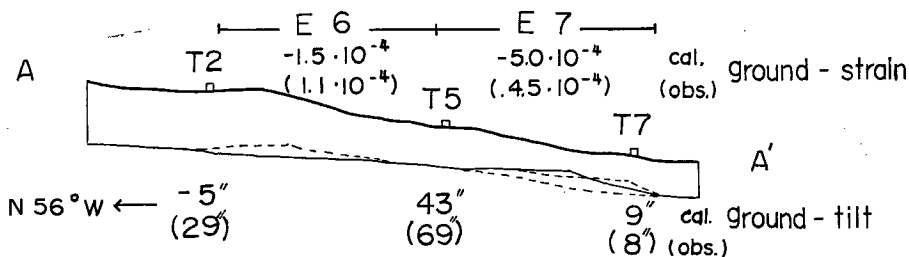


Fig. 7 Estimated form of slip plane, surface strain and tilt (Aug. 18 to Sept. 10).

5. 結 語

当地すべり地の観測を再開してから期間も短く、また地すべりとして著しい現象は現れず、クリープ型のゆるい土塊の移動が見られる程度であったから、現在の移動の特徴について結論を下すには色々の点で不十分である。しかし、地表面移動と降雨量との相関の大きいことは、昭和 46 年 7 月以降行ってきた伸縮計・傾斜計・地中内部歪計の 3 種の観測すべてに、降雨期の変動量の増大となって現れていることからほぼ明らかであろう。

またすべり面が比較的浅い場合には、変動量が小さくても、土塊移動の傾向が系統的に現れることは、多点設定した傾斜量の分布よりほぼ明らかのように思われる。そしてすべり面の深さが 5 m 前後の場合には、ある点の傾斜量は半径 5～10 m 程度の広がり土塊の地表面傾斜量の傾向を表わしているようである。さらに地表面伸縮歪のデーターを併せ用いるならば、すべり面の変化の位置を推定することも可能のように思われる。

終に当地すべり地の諸調査・観測を行なうに当って、滋賀県耕地課の方々に大変お世話になったことを記し謝意を表します。また資料整理等において、倉内洋子氏の手を煩わせましたことに対し、謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 山口眞一・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，昭和 44 年，25-45 頁。
- 2) 防災研究協会：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) L. V. Moloton: Velocity Ratio of Longitudinal and Transverse Waves in Terrigenous Rocks, Bull. Acad. Sci. USSR, Geophys. Ser., 1963, p. 1074.
- 4) 島 通保：亀の瀬地すべり地の移動機構について，京大防災研究所年報，第 15 号，昭和 47 年，197-208 頁。