

地すべり地の内部ひずみ測定について

高 田 雄 次

ON THE OBSERVATION OF THE INTERNAL STRAIN IN THE LANDSLIDE AREA

By *Y ūji* TAKADA

Synopsis

In order to investigate the mechanisms of soil displacement and to decide the slide surface, observations have been carried out by the internal strain meter method in the Tōge Landslide.

On that mechanism, it is shown that the tension of the soil at the upper part causes the main-force of this soil displacement and it effects on the displacement in the shallow depth in this landslide.

On the slide surface, it is found that there are two slide surface; one is in about 10m depth, the other in more deep one which is almost the same as that of the slide surface of the Kamenose Landslide in 1933.

1. 序

大阪府柏原市の奈良県境の大和川流域亀ノ瀬一帯は、古くから「亀ノ瀬地すべり」としてその規模と被害の大きさと有名である。明治以後の地すべり活動の記録をみると、発生の場所や形態の変化をみせながら、現在に至っている。附近一帯の地質は極めて複雑で、花崗片麻岩を最下部層として、その上部に安山岩類・礫層・凝灰岩層によって形成されており、最上部層は大坂層群が広く分布している。地形は平均8°の緩傾斜をなし、中央部に平坦な場所を作り、末端部は15mの急崖で大和川に臨んでいる。

昭和26年には、この「亀ノ瀬地すべり」地内の西端に位置する馬の背・仏生堂・清水谷を結ぶ約4haの滑動が目立つようになり、このため種々の調査と防止工事が行われた結果、一応地すべり滑動を阻止することができた。しかし数年前から同地内で、大和川および清水谷に向って土塊の滑動が再び感知されるようになった。近畿地方建設局では、同地内の抜本的な防止対策として排土計画を立案し、これに必要な調査を行なうことになった。この調査の一部として、筆者等は地中内部ひずみ計で、すべり面の深さと地中土塊の移動形態を解明するために、昭和38年、39年の2ヶ年に涉って地中内部ひずみ計の測定を行っている。現在までに資料も豊富になり、当地すべりの性格について二三の結論が得られるに至ったのでここに報告する。

2. 測定装置

地中内部ひずみ計の装置および測定法については多く発表されているが、今回用いた装置の概略はFig. 1に示す通りである。先ず硬質塩化ビニールパイプの両側にストレンゲージを貼り、防湿・防水処理を行う。ゲージ間隔は地すべり地によって異なるが、2mが最も普通である。このビニール管を所定の長さだけ接続しボーリング孔に挿入し、各深さに取り付けたゲージのリード線を地上に導いて、そのひずみ量を測定する。

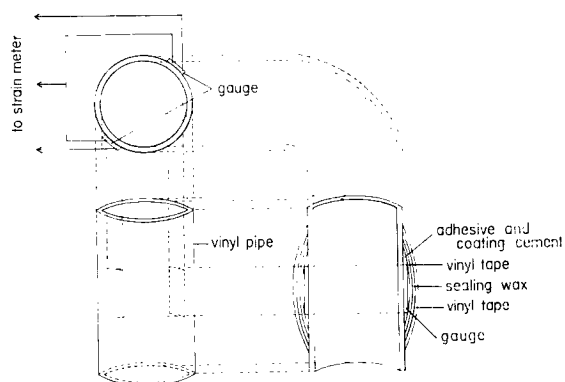


Fig. 1. The illustration of the internal strain meter.

地中土塊の変位量は得られたひずみ量を適当に処理した値とほぼ比例するので、ひずみ量を測定することによって、すべり面および土塊移動の様相を知ることができる。

解析方法は、各深さで最初に設置した地中内部ひずみ計のひずみ量を基準値として、設置後に測定した時の変化量を計算し、この値を深い方の地中内部ひずみ計から得られた測定値から浅い方へ順次加算して、一つのひずみ量変化柱状図を作る。この方法によれば、最も深い場所のパイプのひずみ変化量を基にして、パイプの受けたひずみの大きさが地表面まで連続してわかり、縦軸に深さ、横軸にひずみ変化積算値を取ってグラフを作ると、図から簡単にすべり面の深さが判定できる。この他横軸に各深さのひずみ変化量を取って解析する方法もあるが、前者の方がすべり面判定については理解しやすい。更に土塊の移動機構を推定するために、特定の深さのひずみ量の経日変化図を作り、ひずみ量変化の発散性の有無及び曲線の形状から論ずる。

3. ひずみ測定と結果

亀ノ瀬地すべりについては、すでに各専門分野の人々により種々の調査が行われており、すべり面についても、ボーリング調査・物理探査・すべり面計によってある程度明らかにされている²⁾。しかしいずれも十分な測点がなかったため、これらを補足する意味も含めて、地中内部ひずみ計による調査を行った。調査は38年、39年の2ヶ年にわたり現在も継続中であるが、38年度は土塊移動の様相を主として調べ、39年度はすべり面調査を重点的に行なった。調査の主眼や測定範囲が多少異っているため38年度と39年度に分けて論ずる。

3-1 38年度の調査

すでに地質調査等によって概略の地下構造とすべり面との知識が得られていたが、更に詳しいすべり面の断面形状と移動形態についての知識を得るために、Fig. 2 に示す4点を選んで、1963年6月下旬より1964年1月下旬まで測定した。地中内部ひずみ計の測定深度は各点とも30mとし、各測点の垂直測定間隔は2mで2ゲージ法を用いた。測定を始めた時期は降雨期の後半にあたり、年間を通じて最も激しく土塊が変動すると考えられた時期をやり失した感があって、土塊の動きが把握できないのではないかと多少の不安があった。しかし解析の結果では今回の目的に支障はなかった。

すべり面については、積算法によって解析した(Fig. 3)。これによると、No. 1では9mと23m; No. 2では15m; No. 3では11mと25m; No. 4では9mと25mと夫々の測点でのすべり面が判定され、No. 2を除いておのおの二つのすべり面の存在が明らかになった。これから、すべり面の一つは地表面から10m前後の深さでNo. 4からNo. 1まで連続しており、他の深いすべり面はNo. 4からNo. 2まで円

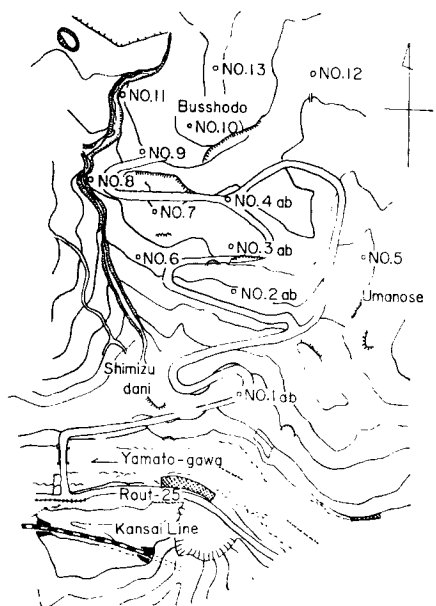


Fig. 2. Location of the Kamenose Landslide area and stations of investigation by internal strain meters.

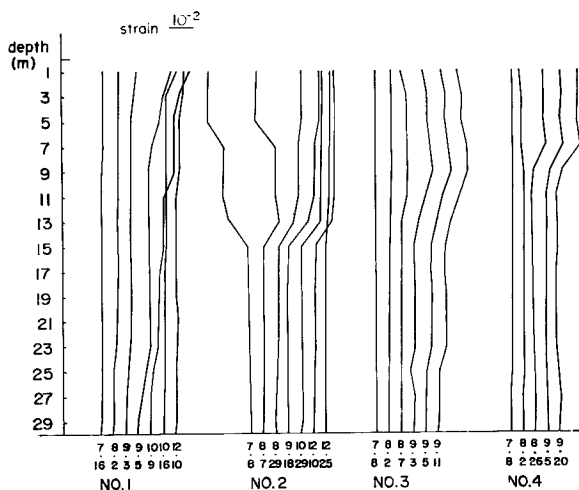


Fig. 3. Variations of strain Nos. 1, 2, 3 and 4 in 1963.

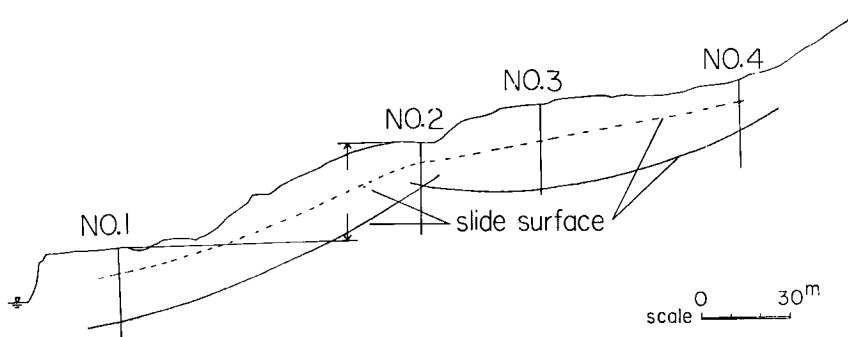


Fig. 4. Slide surface profile from No. 1 to No. 4 stations.

弧状になっており、No. 2 では浅いすべり面とはほぼ一致し、No. 1 にむかって再び浅いすべり面と深いものと二つに分れている。その後測定値がふえたので、再びすべり面の深さを検討した結果、浅いすべり面は変らなかったが、深いすべり面については、No. 1 から 4 までそれぞれ 25 m・15 m・25 m・15 m 以深にはひずみ量変化が少いことから、この値を最も深いすべり面とした。この推定すべり面を断面図で示すと Fig. 4 の形で表わされる。図中の実線は深いすべり面、点線は浅いすべり面の深さを表わしてあり、深いすべり面について形から判断すると、No. 1 と No. 2~4 の土塊は一連の動きを示さないであろう。

土塊の移動については、観測期間中に排土工事が行われたので、工事によって移動形態にどんな影響が現われたかを検討する機会に恵まれた。当地すべり地の本来の移動形態（上部の押しあるいは下部の引張りの

どちらが卓越しているか)を明らかにするためには、排土工事を行う以前の資料で検討する必要があるので、資料不足であったが、6月から2ヶ月間の測定値を用いた。No. 3, 4はこの期間中 10^{-4} 程度のひずみ量のため No. 1, 2 について検討した。今浅いすべりについては No. 1, 2 共 5m を、又深いすべりは 23m, 29m のひずみ量をそれぞれ代表値として選び、ひずみの伝播の様子を調べると、No. 2 から No. 1 に向けて浅いすべりでは10日、深いすべりでは20日前後でひずみ量の伝播が行われている。(Fig. 5A・B) ここで注目すべき点は、浅い場所でも深い場所でも何れもひずみは地すべり上部から下部へ伝播していることである。これを土塊移動に直して考えれば、地すべり上部の押しが卓越していることを意味しており、したがって末端部では土塊の押し出しによって土圧が累積される可能性を暗示している。

地すべり滑動の主因が地すべり上部の押しであることから、先に述べた二つのすべり面のうち浅いすべり面より上の土塊は、No. 4 から No. 1 にわたって順次滑動を続けるであろう。一方深いすべり面より上の土塊の移動はどうかを調べる方策として、すべり面の形から考えてみよう。すでに Fig. 4 に示したように、No. 4~2 まで円弧状をしておりローテーション型の土塊移動を考えれば、No. 2 付近で盛り上がりを生じ、その結果は上部

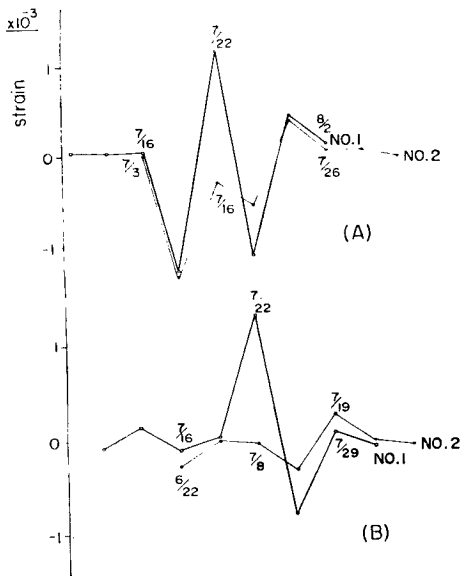
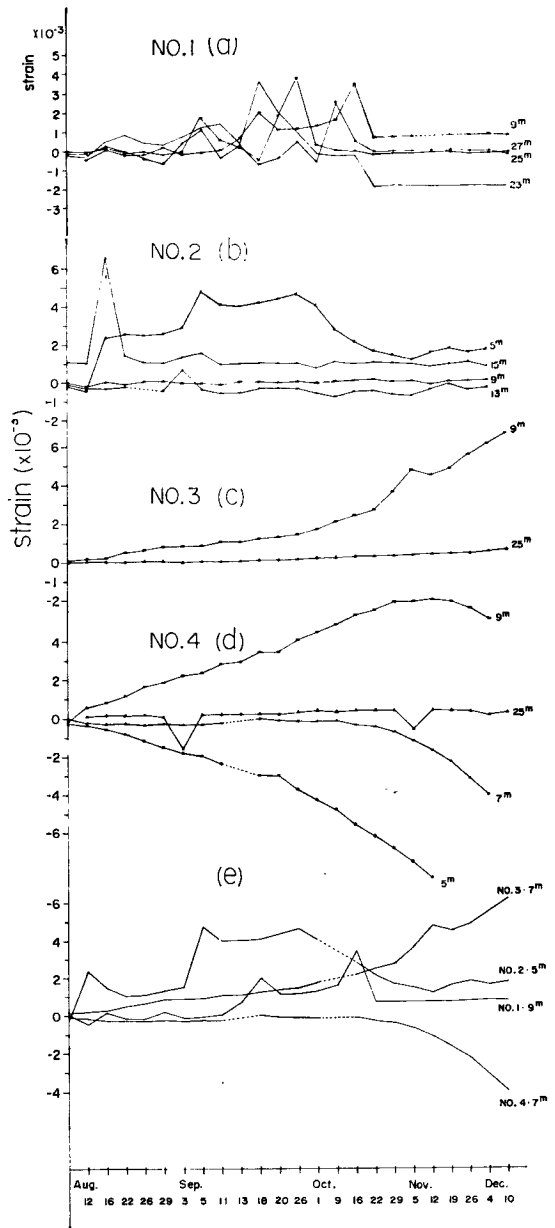


Fig. 5. Soil propagation of the internal strain : A shows the upper layer of it, B shows the lower layer of it.

Fig. 6. (a, b, c, d, e) Diurnal variation of → internal strain at each depth of Nos. 1~4.



移動を阻止する場所になるはずである。この測線にはほぼ平行に設置した伸縮計による表面伸縮量の測定結果によれば³⁾、No. 4 附近は伸び、No. 2 附近は圧縮帯となっていることから、深いすべり面に添ったローテーション型の滑動があると考えれば、逆に圧縮帯の説明がつくのである。

9月中旬より11月上旬にわたって排土工事が当地内で行われたが、土塊移動の形態についての推定が正しければ、排土によって地すべり下部のひずみ量は減少するであろうし、排土された場所が圧縮帯にあたるので、No. 3, 4 のひずみ量は増加するであろう。そこでこれらの関係を8月以降に測定したひずみ量の増減から検討した。Fig. 3 によっても大まかな土塊変動について推察される。すなわち No. 1, 2 においては、排土工事中あるいは終了後にひずみ量がほとんど零になっているのに反し、No. 3, 4 は深い場所のひずみ量が増加している。更に明確にするため、各深さのひずみ量の変化の有様を示したのが Fig. 6 (a,b,c,d,e) で、各測点でひずみ量の比較的大きい値を示した深さのみ取ってある。Fig. 6-e は a~d の各測点で最も顕著な変動を示したひずみ量を取り出したもので、No. 1, 2 では、10月16日頃からひずみ量は減少してひずみ量の変化がなくなっているのに対し、No. 3, 4 では、次第にひずみ量が増加する傾向を示している。これらの事実は、われわれが当初予測したことと一致している。

排土によって生じた土塊変形は、いずれも浅いすべり面以浅で起っており、深いすべり面附近では特に目立った変化がなかったことから、排土で影響されるのは浅いすべり面より上層の土塊である。

3-2 39年度の調査

前年度の調査によって、すべり面と移動形態について情報が得られたが、反面降雨期の土塊変動を完全に把握していないので、測定値に表われなかったすべり面がありうること、および 30 m 以深にすべり面が存在する可能性が考えられた⁴⁾。この疑問を解決するため、清水谷寄りの斜面についてすべり面の深さを知るために、13の測点を設けて測定を実施した。測点は Fig. 2 に示す場所で、No. 1~4 は前年度とほぼ同じ場所に新設し、仏生堂の No. 13 は仏生堂の急崖より南側を本地すべりの上端としてよいか、あるいは仏生堂の土塊が直接 No. 4~1 の測線方向に滑動力を供給しているかを判定するために設置した。

No. 1~13 の測定は5月下旬より行われ、ほぼ5日間隔で測定を行っているが、8月21日の測定値を Fig. 7 に示した。図より明らかなように、ひずみ量変化の大きい測点は、No. 1, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 13 で No. 1, 13 を除くと、ある中で東から北西方向に当地域をよぎっていると推定されている破碎帯⁵⁾の地域と一致し、破碎帯と土塊移動の関係が深いことを示している。

仏生堂上の土塊について、No. 13 は4ゲージ法で測定したので、パイプの変形方向をベクトル量で示す

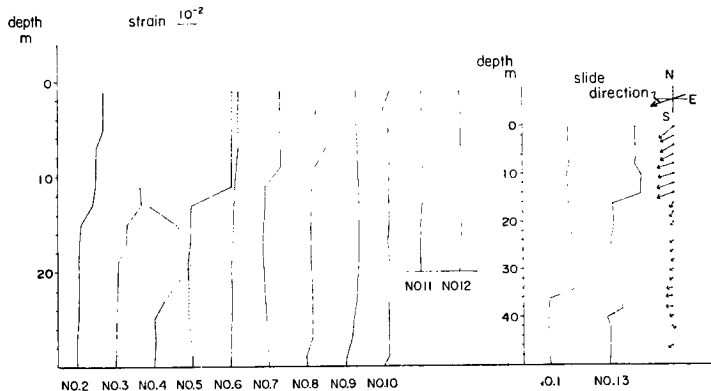


Fig. 7. Variations of internal strain at each station in 1964 and soil displacement direction at No. 13 station.

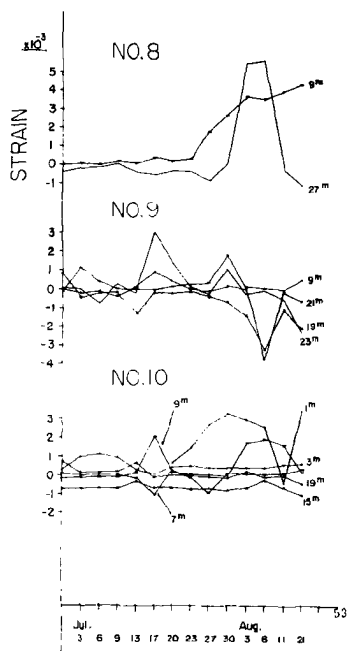


Fig. 8. Diurnal variation of internal strain at No. 8, 9, 10 stations.

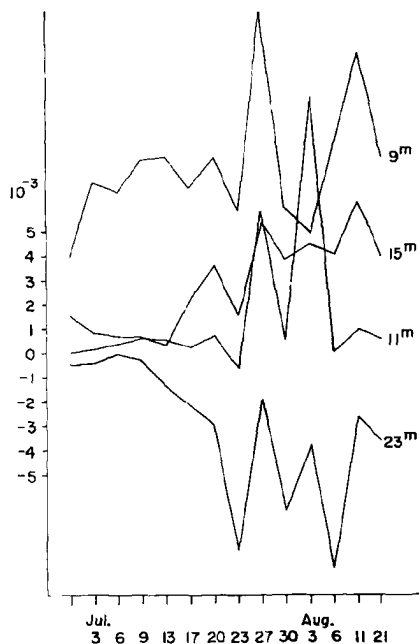


Fig. 9. Diurnal variation of internal strain at several depths of No. 7 station.

と (Fig. 7), ひずみを受けている主方向は清水谷に向っていることから、仏生堂の土塊が大和川方向へ移動することは考えられない。したがって大和川方向へ向う土塊の上端部は仏生堂より南の斜面にあり、当初の範囲で対策を講ずればよいことが明らかになった。

I測線 (No. 8, 9, 10) のすべり面について、No. 8, 9 共割合変動量が大きく、No. 8 では 9m, No. 9 では 23m 付近に存在すると思われるが、No. 9 では判然としない。そこで深さごとの経日ひずみ量変化図をみると (Fig. 8), No. 8, では 9m, No. 9 はこの方法でも 19~23m の間であるが最深部として 23m とした。No. 10 はひずみ量が小さいのですべり面の判定には不適當であるが、強いて求めれば 9m 以浅にある。

II測線 (No. 6, 7, 10) では、No. 6 では 9m 以浅、No. 7 ではひずみ量が大きい割に、すべり面の深さは明瞭でなく、23~25m の間に存在するようである。(Fig. 9)

III測線 (No. 1~4) では、No. 1 から 4 まで順に、35m, 23m, 19m, 23m にすべり面の深さが認められた。このそれぞれの深さについて、昨年判定した最も深いすべり面の深さと比べると、No. 1 から 4 までのおおの、25→35m, 15→23m, 25→19m, 15→23m となり No. 3 を除いてすべり面が深くなっている。この差異を生じた理由は、土塊移動の起らない深さすなわち基盤まで地中内部ひずみ計が入っていなかったこと、降雨による土塊の動きを昨年度は完全に把えていなかったため、このような深さに差があらわれて来たもので、土塊移動が本質的に異ったものではないと考えている。

推定したすべり面の位置を各測線の断面図に記入してすべり面の形を推定すると、Fig. 10, 11, 12 のようになる。昨年と今年ですべり面の深さが異った I 測線について、最も深いすべり面の形は、深さは異っていてもその傾向が同じであることから、移動形態は昨年と同じであると解釈される。ただし No. 1 の最深

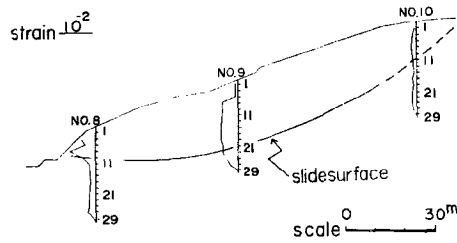


Fig. 10. Slide surface profile of I span.

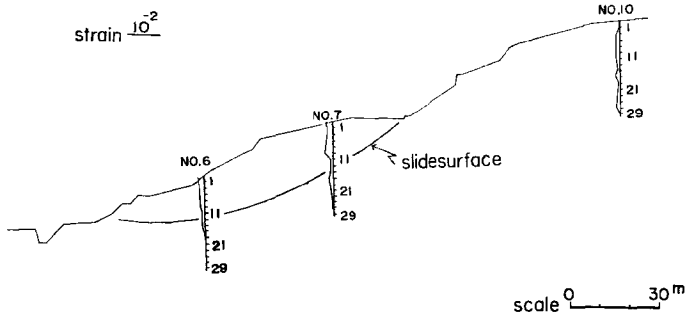


Fig. 11. Slide surface profile of II span.

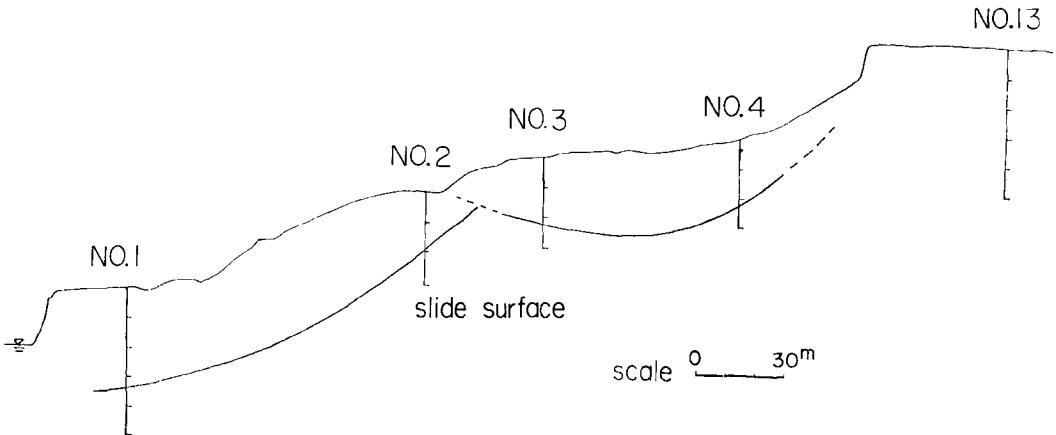


Fig. 12. Slide surface profile of III span.

すべり面は 35 m であり、すべり面の形によっては大和川対岸に達する可能性もある。現在この問題について No. 1~2 の中間点と大和川岸の 2 ヶ所で測定準備中である。更に 39 年度においては、最もひずみ変動量の大きい個所を取ってすべり面としたが、Ⅲ測線ではこの他に表面付近の滑動量の方が深いすべり面付近のそれより大きいことは、すべりの主流は 10 m 前後の浅い層の動きであることを意味している。

3-3 内部構造の結論

38年, 39年の2ヶ年に涉って行われた調査から, 亀ノ瀬地すべりの特長をまとめてみると, 大和川筋に移動する土塊については, 次の結論が得られる。

(1) すべり面は表層と下層とにあって, 数年来活発に滑動しているすべり層は, 10 m 前後までの表層の土塊である。

(2) 地すべりの発生による土塊移動の形態は, 上端部よりの土塊の押しが地すべり下部へ伝播しているので, 排土工法は有効な防止策と考えられる。

(3) 地すべり末端部近くのすべり面の深さは, 35 m であるため, 大和川対岸まですべり面が達している可能性もある。

(4) 現在動きの激しい場所は, 物探で測定された破砕帯に集っている傾向がある。

(5) 二つのすべり面のうち, 浅い層ではクリープ型の土塊移動を示し, 深い層の土塊はローテーション型の移動を示している。

清水谷に向う土塊移動の様相については, 現在検討中であるため, 結論を得るまでに至っていないが, 発表の準備中であることを付記しておく。

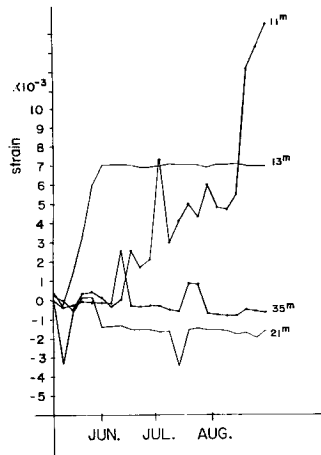


Fig. 13. Diurnal variation of internal strain at several depths of No. 5 station.

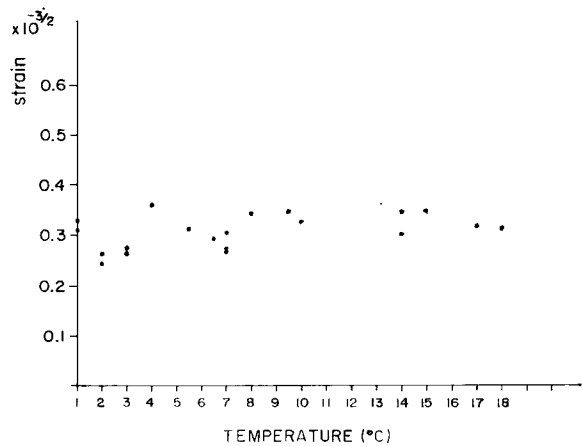


Fig. 15. Variation of the internal strain meter output by change of the temperature.

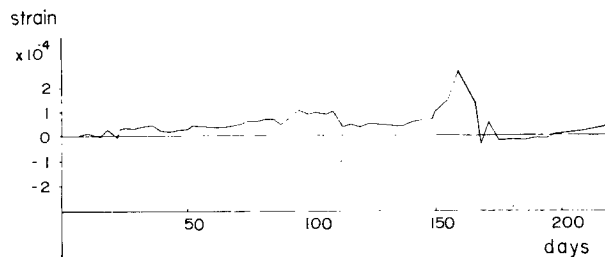


Fig. 14. Diurnal variation of internal strain meter output at condition of no strain.

4. すべり面判定について

すべり面判定については、積算法を用いてそのグラフから判定する方法が一番適当であるが、短期間に結論が欲しいが積算法ではすべり面を判定するのに十分な値が得られない場合は、図を書くとき1桁小さい値（普通は 10^{-2} を1cmとする）を取ってすべり面を判定する。しかし、 10^{-3} の桁で議論することは、ノイズとして測定されるひずみ量の上限が明らかでないので、このようにしてすべり面を判定することは不安である。そこで各深さに設置したそれぞれのひずみ量に注目して、設置した時からの変動の大きさおよび傾向から、すべり土塊層にあるかどうかを判定し、すべり土塊層にあるものの中で最も深いものと、すべり土塊層にないものの中で最も浅いものとの間にすべり面が存在すると判定する方法である。

今 Fig. 13 に示したように、No. 5 の測点の 11, 13, 21, 35 m の各深さのひずみ変化量を図に示すと、11, 13 m では変動が激しく発散の傾向を持っている。一方積算法によって判定したすべり面は 14 m である。そこで Fig. 13 に戻って考えると、ある一定の方向に発散する傾向が認められる深さは移動土塊層中にあることがわかる。では一定の方向に発散の傾向がある深さは移動土塊層中にあると断定できるかという、筆者が室内で無歪状態で放置した内部ひずみ計の経日変化を調べた結果は、 3×10^{-4} の範囲内で発散の傾向が認められた。(Fig. 14) このような無歪状態における出力変動の原因は未だ明らかではないが、無歪状態でもある範囲内で発散性を示すが、そのひずみ量は小さいのが普通である。そこでノイズの限界値が求められることができれば、この方法ですべり面を判定することが出来る。

38年度に行った No. 3 の 25 m の測定値 (Fig. 6-c) は 10^{-3} 以下であるが発散性を示していた。しかるに39年度の測定では、すべり面は 19 m と判定され、25 m 付近にひずみ量が大きく変動しているところはなかった。すなわち38年度に測定された 25 m の発散性はノイズと考えてよい。一方 Fig. 14 をみると、 $0 \sim 18^{\circ}\text{C}$ の温度変化に対して 4×10^{-4} 以上に変動していない。このことを総合すると、 10^{-3} 以上の変化でかつ発散性の傾向にある深さは移動層中の深さにあるものと考えられる。この方法は今回のすべり面の判定に適用したのである。(Fig. 15)

地中内部ひずみ計の適用例として、亀ノ瀬地すべりを取り上げてみた。地すべりの移動形態は非常に複雑であることがわかったが、確定的な結論はまだ得られない。今後はすべり面が上層と下層とに二つ存在する場合、両者の動きを支配する要因および両者の相互関係について更に検討を加えたい。

終りに臨み、本調査の機会を与えられ、御支援下された近畿地方建設局、大和工事々務所、生瀬所長、工務課長始め各位にお礼申し上げます。又本調査研究の全体について、京都大学名誉教授佐々憲三博士の有益な御教示と、京都大学山口真一教授の御指導に感謝の意を表わします。又ひずみ計の製作に当っては、竹内篤雄氏の支援を受けた。

文 献

- 1) 山口真一 “地すべりの地球物理学的な調査及び研究について” 地すべり研究 6号 (1962)
- 2) 大和川工事々務所 “亀ノ瀬地すべり報告書” 1963年 p. 25~70.
- 3) 高田理夫 “地すべり地における土地ひずみの観測 (II)” 京都大学防災研究所年報 No. 7, 1964, p. 50~60.
- 4) 山口真一, 高田雄次 “地中内部ひずみ観測について” 亀ノ瀬すべり報告書, 大和工事々務所 1963年 p. 42~46.
- 5) 前掲書 3)