

伊良原地すべりの移動特性について (1)

島 通保・末峯 章・小西利史

ON THE CHARACTERISTICS OF MOVEMENT OF SOIL MASS IN IRAHARA LANDSLIDE AREA(1)

By Michiyasu SHIMA, Akira SUEMINE and Toshifumi KONISHI

Synopsis

Movement of soil mass is being observed by extensometers, tiltmeters and pipe strain meters in the Irahara landslide area from June, 1979. The authors were interested in detailed surveys of features of the distributions of extension and compression of the ground surface and slip plane, and investigated the relationship between the state of movement of the ground surface and the form and movement of the slip plane. Then, they presumed the characteristics of the movement of soil mass, as shown in Fig. 10.

1. ま え が き

伊良原地すべり地は、吉野川系貞光支流九藤中川左岸に位置している徳島県美馬郡一宇村伊良原にあり、地すべり防止指定区域の面積は約 60 ha である。斜面は北に面し、傾斜は平均約25度である。当地域は中央構造線沿いの地すべりの多発している三波川結晶片岩地帯の南縁近くにあつて、古くより地すべり地として知られていた所である。地すべり防止法制定前に防止対策が実施されたこともあつたが、地すべりの実態の調査はこれまでほとんどなされなかつた。

昭和50年8月18日～23日の間に、台風5号、6号は徳島県に記録的な豪雨をもたらし、各地に甚大な被害を与えた。この伊良原地すべり地でも九藤中川にかかる橋の橋台が破損し、伊良原部落の伊良原堂のある所を中心に 20 ha にわたつて顕著な地すべり変動を生じ、クラック、陥没、地表面の喰違ひ、末端崩壊が発生した。昭和52年、53年には降雨量が少なかつたため、比較的安定していたようであつたが、これまでほとんど地すべり防止対策がなされることがなく、その地質から考えて、豪雨時には地すべりの再発が予想されるため、54年度より先ず地すべりの調査から着手されることになった。

この伊良原地すべり地の地質は地表踏査及びボーリングコアから判断して、基岩は大部分黒色片岩から成り、一部に緑色片岩があるに過ぎない。いづれも脆弱質で、一応岩と判定される地層に達するまでのボーリング無水掘区間は礫混り粘性土で表土および基岩の風化層と判定され、ボーリングの結果によれば 16 m ～40 m の厚さがある。この風化層の色は黒色片岩を母岩とするものは黄褐色、灰色、灰黒色であり、緑色片岩を母岩とするものは薄緑色である。

54年度から伊良原地すべり地において地すべりの調査が開始されたが、調査はこの地すべり地全体ではなく、これまで地表に生じた変動状態から、地すべり活動をブロックごとにわけ、その中より地すべり活動の盛んであつたと考えられる伊良原堂より西方の地域を対象とし、この地域に各種の地すべり観測計器を配置した。

54年度は、54年9月30日の第16号台風および10月18日、19日の第20号台風時に集中豪雨的な降水量があつたため、各種の地すべり観測計器に顕著な変動が現れ、伸縮計 E 2～E 16 の測線の末端付近には小規模な崩

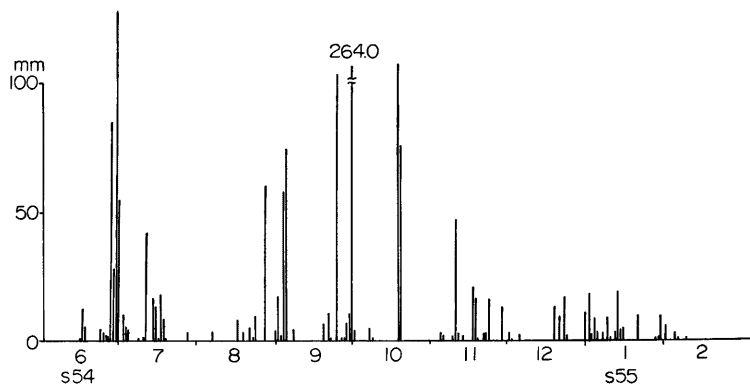


Fig. 1. Precipitation in Irahara.

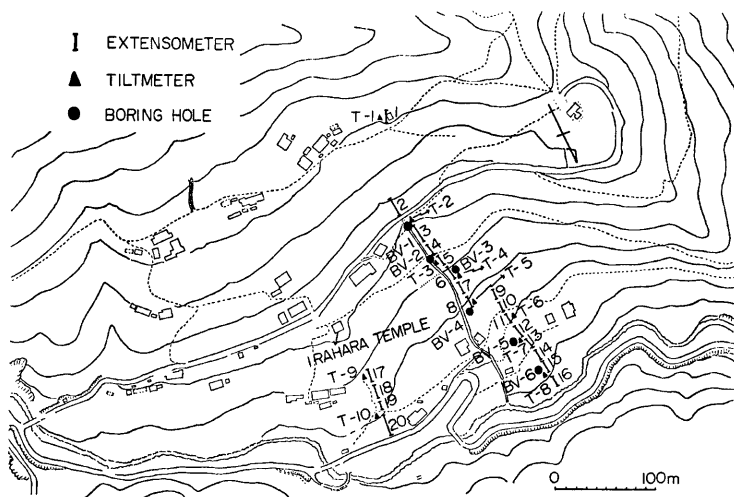


Fig. 2. Location of instruments

壊が発生した。

2. 移動に関する変動

各種の測定器の設置場所は Fig. 2 にまとめて表示してある。その設置位置の選定に当っては、過去に於てボーリング調査、測量等の調査が全くなされていなかったため、昭和50年に生じた地表面のクラックの分布、その大きさの程度、数の多さと、陥没、地表面の喰違い等が顕著に出ていることを考慮した。すべり面も比較的浅いことが予想されたが、表層の軟弱さから降水量が非常に多い際には再び動き出しそうな所に重

Table 1. List of extensometer.

Number	Length	Sensitivity
1	1 0.9 5 m	$18.2 \cdot 10^{-6}/m$
2	1 5.0 7	1 3.2
3	1 9.4 5	1 0.2
4	1 4.5 5	1 3.7
5	1 4.7 7	1 3.5
6	2 0.0 0	1 0.0
7	1 5.9 9	1 2.5
8	1 3.0 5	1 1.0
9	1 1.8 8	1 6.8
1 0	1 2.2 0	1 6.3
1 1	1 5.5 3	1 2.8
1 2	1 5.0 4	1 3.2
1 3	1 5.5 7	1 2.8
1 4	1 4.7 5	1 3.5
1 5	1 7.1 5	1 1.6
1 6	1 5.1 9	1 3.1
1 7	1 6.7 7	1 1.9
1 8	1 4.4 8	1 3.8
1 9	1 5.0 7	1 3.2
2 0	2 1.2 0	9.4

点をおいて、伸縮計、地中内部歪計を配置した。また末端部の被害発生箇所等を考慮して、その下端部の計器の配置の場所を選定した。

2.1 地表面における地盤変動

(a) 伸縮計による観測結果

伸縮計は全部で20台設置してある。地表面の変動状態のみから判断して、地すべり活動の最も盛んであった地域を貫くように第1測線：伸縮計E1～E16を谷に対して垂直になるように配置した。また第2測線としてE17～E20の4台を昭和50年に末端の崩れた付近にE20が達するように伊良原堂の下方に配置した。

使用した伸縮計は坂田電機KK製のSRL-1型であり、インバール線の長さ、感度等はTable 1に示されている。観測は6月上旬より連続して行っている。54年度は9月30日の台風16号による264 mmの降水量、10月18日、19日の台風20号による180 mmの降水量があり、地すべり活動にも強く影響している。

観測結果を第1測線の上部から下部に向かってみていくと以下のである。昭和50年にはかなり活動的であったと思われるE1、E2の設置箇所（第1測線の上端部）の地表面歪変動は、出れば伸びの傾向であると思われるが、54年度の9月、10月の豪雨程度では、その影響はほとんど現われず、この区間はほぼ年間を通

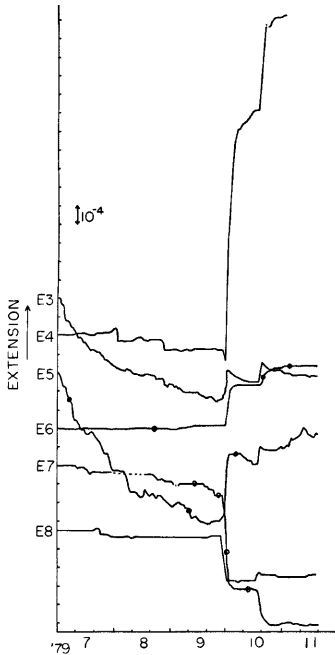


Fig. 3a. Variation of surface strain.

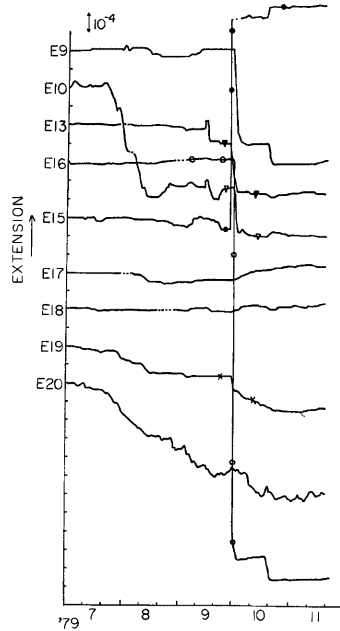


Fig. 3b. Variation of surface strain.

じて安定的であったようである。

伊良原地すべり地のほぼ中央を東西方向に水平に通る道路より下は、昭和50年に発生したクラック等の地表面変動の非常に明瞭に残っている地域であるが、E3 から E16 はこの道路より下に設置された伸縮計であって、54年度での最も顕著な変動の現れた9月30日の動きに注目して変動の特性をみると、2つのブロックに分かれるようである。その中の上位部のブロックはE3 から E14 の間であり、下位部の地すべりブロックはE15, E16 の張られているブロックである。

上位部のブロックで伸びの区間はE3 から E6 の間であることは Fig. 3 から明らかで、E7 から下に設置されている伸縮計には縮みが現れている。

9月30日に現れた地すべりの変動に着目すると大略以上のように特色づけられる。一方この地すべり地の年間を通しての動きをみると、E3, E5 の6月始め(設置時)から9月30日の豪雨時までの動きに典型的に現れているような、クリープ的な縮みの進行する現象がある。これらの地点が集中豪雨時には、明瞭な急激な伸びを示した所だけに、9月30日までの縮みは特徴的である。例えばE3 は9月末までの4ヶ月間、ほぼ持続的に縮み続け、その総量は $8 \cdot 10^{-4}$ である。特に梅雨の多雨期の変動量はかなり大きい、降雨のはほとんど無った7月下旬から8月中旬にかけても $1.5 \cdot 10^{-4}$ の縮みがクリープ的に現れており、この周辺が長期的に縮みの領域であったように思われるが、この時期には未だ地中内部歪の観測が開始されていなかった、このような地表面の動きがどの深さのすべり層に対応しているのか明らでない。このE3 は9月30日、10月18日、19日の集中豪雨時に伸びているが、この2度の伸びの直後にも縮みが現れている。

またこのような現象はこの上位部ブロックの中の下半部に設置されている伸縮計 E7 の 6 月、E10 の 7 月から 8 月にも現れているところから判断すると、このブロックの地表面近傍は防止対策がなされないままでは、傾向的に圧縮的な移動特性を持つものと考ええる。また第 1 測線の下位部のブロックにも、似た傾向がみられ、E15 はこのブロックの上端から張られた伸縮計であるが、6 月始めから 1 ケ月間ではあるが $2 \cdot 10^{-4}$ 程度クリープ的な縮みが現れており、上位部ブロックと下位部ブロックを合せ、第 1 測線付近の表層土塊は傾向的に下方にずり下っているようである。

9 月 30 日、10 月 18 日、19 日に現れた移動特性を各ブロックについて、もう少し詳細にみてみる。上位部のブロックの伸びのゾーンは E3 から E6 の間であって、その中でも E4 の設置区間の伸びが最も著しく、9 月 30 日の豪雨時に $12 \cdot 10^{-4}$ の伸び歪、10 月 18 日、19 日の豪雨時に $5 \cdot 10^{-4}$ の伸び歪を示した。この E4 の伸縮計の下端に設置されたパイプ歪計 B2 には明瞭なすべり面が現れていないので、この E4 の伸縮計の急激な伸び変動が地中のすべり面との関連からは説明しにくい。あるいは通常よく見られる明瞭な面を堺にした層すべりではなく、表面からある深さまでが流動的に動いているのかも知れない。しかしこの伸びゾーンの中、E5、E6 の伸び歪は地中のすべり運動に対応しているようである。すなわち E5 の下方、E6 の区間内に、パイプ歪計 B3 が設置されているが、深さ 6.5 m 付近に明瞭なすべり面を推定させるような著しい変動が歪ゲージに出ている。E3 から E6 に至るゾーンの伸びも 10 月 19 日の降雨後、11 月からはこの傾向もほとんど出現せず、2 月末現在に至っている。一方縮みは E7 から始まり、縮みを記録した E14 まで続いている。ただ E11、E12 のみ、9 月 30 日、10 月中旬の豪雨に於て、伸縮変動が現れていないが、この事は E11、E12 の 2 区間が不動であったのではなく、この 2 区間の表層土塊が伸縮的な変形をしないで、剛体的に下方にずり下ったとみる方が事実と合致しているように考えられる。というのは、E11、E12 の上方および下方にはパイプ歪計 B4、B5 が設置されているが、B4 は深さ 7.0 m に、B5 は 9.5 m にすべり面を推定させるような歪変動が出ているからであって、E11、E12 の区間に伸縮がなくても、すべったとしか考えられない。またボーリング孔 B3、B4、B5 の地点でのすべり量は後で説明されるが、上に位置する程大きく、この事は伸縮計 E7～E14 の区間が縮みを伴った下方へのずり下りであることを示すものといえる。

第 1 測線の下位部に地すべりブロックが存在することは、伸縮計 E15 から再び明瞭な伸び歪を呈し、そのすぐ下の E16 で急激な顕著な縮みの区間が現れていることから、またこれに対応してパイプ歪計 B6 に於て深さ 9.5 m にすべり面を推定させる変動が出現していることから、ほぼ明らかである。しかも E15 の伸び、E16 の縮みの量はかなり大きく、特に E16 の縮みは $2.2 \cdot 10^{-3}$ の大きさで伊良原地すべり地に今年設置された伸縮計が把えた最大の歪みであり、その位置が九藤中川に近い位置である点、災害防止の観点からも注目すべき変動量である。事実、第 1 測線が九藤中川に達した付近の末端が、9 月 30 日に小規模ではあるが崩壊している。

第 2 測線に E17～E20 が設置されたが、この測線は比較的短く、第 1 測線に比して変動量も小さい。しかし 9 月 30 日の集中豪雨による変動は E19 に縮みとして小さいが (10^{-4}) が一応明瞭に現れている。地すべりブロックとしては余り明瞭なものとはいえないが、第 2 測線他近も不安定ではある。E20 も 7 月頃から継続的にクリープ的に縮んでおり、第 1 測線に比して規模は小さいが一応すべりブロックと考えておいた方がよいように思われる。

(b) 傾斜計による観測結果

Fig. 2 に示す位置に水管傾斜計 10 台を設置した。その選定に当ってはパイプ歪計の設置してある地点の付近には必ず置き、その他は第 1 測線、第 2 測線に沿って、余り空白ができないように分布させた。傾斜計を設置した台は、長さ 2 m の H 鋼の両端を杭で H 鋼がほぼ水平になるように支持したものである。その方向は川に向けてある。このように長い台に設置した方が、より広い範囲の動きを 1 台の計器によってとらえられ、これまでの 50 cm のコンクリート台に設置するよりノイズ的な傾動も入りにくく、また陥没的な動き

も忠実に捉えやすい等の利点がある。この方式による観測結果は Fig. 4 に示されている。

まず第1測線に設置された傾斜計の動きについて見てみると、伸縮計と同じく上位部の T1, T2 は変動の非常に少ない所に設置されており、全体としてわずかに谷側へ下がっているが、その総量は T1 で150秒程度で殆んど不動といつてよいであろう。その下の方に T3 が設置されているが、これは伸縮計 E5 の区間に設置されたもので、伸縮計の方はそれらの中でも最も変動の著しいものの1つであるが、傾斜計の方は年間を通じて、数回50秒前後の山側あるいは谷側への傾斜を繰返している程度である。9月30日、10月18日の豪雨時にもほとんど変動していない。一般に地すべり地における変動は伸縮計より傾斜計に敏感に現れるといわれているが、この T3 は逆に傾斜計の方が鈍感であり、T4, T5 等他にも類似の傾向がみられるが、このような例も時々観測されており、通説を余り一般化することには問題がある。

9月30日の豪雨時に特に顕著な傾動の現れたのは T8 ぐらいのものである。ここでは山側が下る向きに200秒傾いた。設置点が伸縮計 E15 の伸びの区間から E16 の縮みの区間に移る所であり、その伸縮量も大きい値を示した所であるため、円弧的なすべり面に沿って地すべり土塊が動いたのではないと思われる。

その他 T4, T5, T7, T8 の傾斜計もかなり顕著な傾動を示している。しかしその出現の時期が地すべりの誘因といわれている降雨と余り関係していない点が特異である。例えば T4 は8月上旬に190秒の谷下りの傾動を示したが、その前後も含めて晴天の続いていた時期である。一方9月30日の豪雨時も1週間に80秒程度であり、10月18日の時には全く変動していない。また T5 も8月27日の60mmの降雨と同時期に310秒谷下りの傾きを示しているが、9月30日、10月18日、6月の梅雨期には全くといってよい程変動していない。一方伸縮計は E8 が T5 と重なっており、それには9月30日の豪雨の影響は明瞭に出ている。

このように T3, T4, T5 の傾斜計には9月30日の豪雨の影響は全く出していないか、出いていてもわずかである。地中内部のすべり面の形が平面的であるのか、あるいはその動態に何か特徴があるのか等を更に詳細に調べるとともに、一方では傾斜計の感度の意味について再検討する必要があるように思われる。

第2測線には T9, T10, の2台が配置されているが、9月30日、10月18日の豪雨と関係のある傾動は殆んどでていない。

2.2 地中内部の変動

地中内部の変動観測には通常用いられているパイプ歪計の他に挿入型の歪計および孔中傾斜計も用いられた。

(a) パイプ歪計(地中内部歪計)による観測結果

パイプ歪計による地中の土塊変動観測は、Fig. 2 に示されている位置において、6本のボーリング孔に埋設された歪計によって行なわれた。パイプに貼付された歪ゲージの間隔は1mである。観測の開始は B1 は8月7日の時点から始められたが、掘削の最も遅った B6 は10月に入ってから始めざるを得なかった。

6本のパイプ歪計は伊良原地すべり地の中央をほぼ東西に走る道路と九藤中川の間第1測線に大体等間隔に設置されたが、その中 B1 と B2 は、昭和54年8月7日から観測が開始されたが、55年2月末においても変動が殆んど現れなかったため、Fig. 5 には描いていない。道路から40m離れた地点に至る間では、9

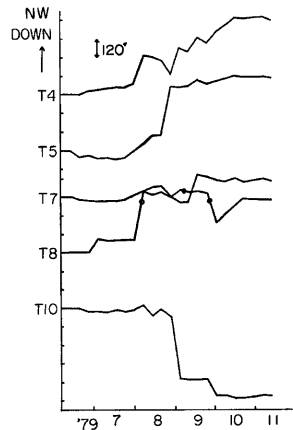


Fig. 4. Variation of ground tilt.

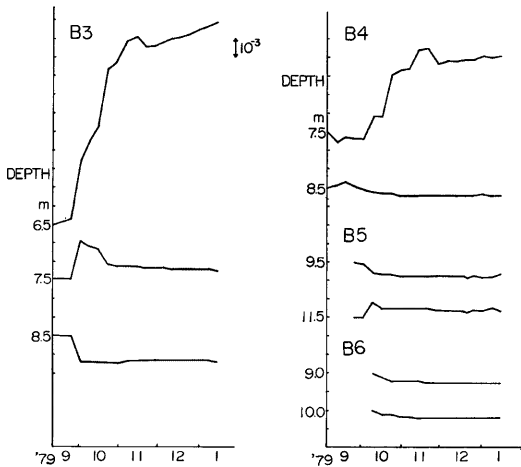


Fig. 5. Variation of internal strain.

月30日および10月18日、19日の豪雨の際にも地中には土塊変動は全く現れなかったと考えられる。B2より上位部に設置された伸縮計E3、E4には9月30日、10月中旬の豪雨に於て明瞭な伸びが現れていることは伸縮計の項で述べたが、これに対応するような動きが深さ38.5mまで現れなかったことは、地すべりの移動の一般論からは理解しにくいことであるが、後述の挿入式の歪計や傾斜計による繰返し測定でも曲っていないという結果がでている。55年の降雨期の動きをみてから、さらに考えてみたいと思っている。B3からB6の中および下位部に設置されたパイプ歪計は9月11日以降、順次観測が始められ、9月30日の豪雨まではどれにもほとんど変動は現れなかったが、この時の豪雨でB3、B4、B5に顕著な歪変動が現れ、地すべりに伴う塩ビパイプの曲りの発生がFig. 5の歪の経日変化図からわかる。すべり面に相当するその正確な深さは(b)で述べられる挿入式のものによってかなり精度よく求めることが出来るが、Fig. 5からわかる所ではB3で7m前後、B4で7.5m前後、B5で9.5mの前後であることがうかがわれる。B6はこの時には未だ設置されてなかったので不明である。歪ゲージが把えた時間的変化は、B3の6.5mが最も著しく、この時 $3.3 \cdot 10^{-3}$ の歪の増大を示し、10月18日まで殆んど降雨がなかったが、なお10月18日の直前までに $2 \cdot 10^{-3}$ の歪の増大を示した。

その後の10月18日、19日の豪雨で再び急激な歪の増大がB3、B4に現れた。B5、B6にも大きくはないが

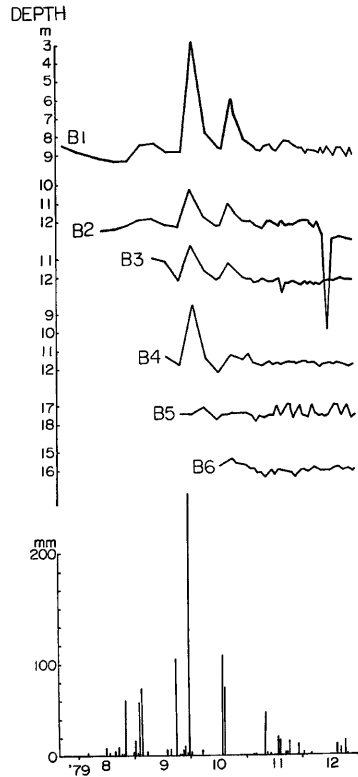


Fig. 6. Variation of ground water level.

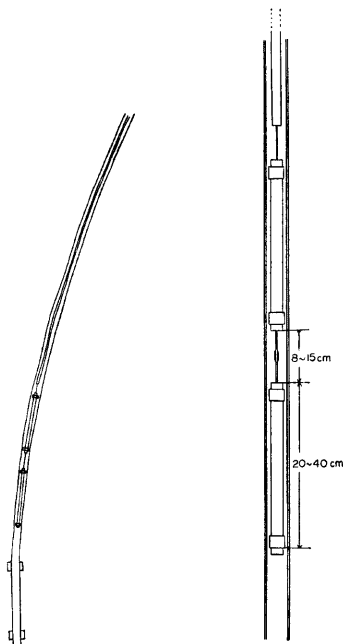


Fig. 7. Strain meter of insertion type.

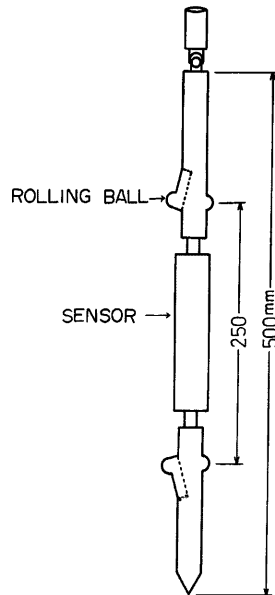


Fig. 8. In-hole inclinometer.

歪の増大が現れている。その深さは変動を示す歪ゲージの貼付の位置から、9月30日の時とほぼ同一の深さがすべり面となってパイプが曲ったと認められる。またパイプ歪計からも、すべり量の大きかったのは B 3, B 4, B 5 の順であることが定性的にはわかる。B 3 の 6.5 m, B 4 の 7.5 m の深さの歪ゲージの変化は10月18日の直後にとどまらず、11月中はかなり顕著に、またその後もわずかづつではあるがなお歪は増大し続けしており、55年2月末になって漸く停止したようである。したがって、今後の豪雨時には警戒を要する。

(b) 挿入式の歪計および傾斜計による測定結果

挿入式の歪計¹⁾ および傾斜計の構造はそれぞれ Fig. 7 および Fig. 8 に示されているようなものであって、いづれも中心部にセンサーである歪ゲージあるいはサーボ機構を持った加速度型の傾斜計がセットされている。これらをパイプ歪計として設置された塩ビパイプの中に挿入して、パイプの歪量あるいは傾斜角を測る測定器である。

挿入式歪計の方はパイプ歪計と同様その値の大きさはパイプの曲率に比例した量である。また挿入式の傾斜計（孔中傾斜計）の方の指示計の読み自体はパイプの鉛直から測った傾きの角度である。Fig. 9 にグラフ化したものは、その深さに関する微分量を計算して、パイプ 1 cm あたり傾斜角の変動量を描いてある。したがってこれもパイプの曲率に比例する。それ故、この2種のグラフは同一のボーリング孔のパイプについては極めて類似した形をもつ。

実験室での試験および現場での計測経験から、歪計の方の誤差は $\pm 200 \mu$ ストレイン程度であり、傾斜計の方の誤差は $\pm 200 \mu$ ラジアン/cm 程度である。そこでそれを越えるような系統的な変動をパイプの曲りと判定している。(図において実線で描いた部分のような形をした曲線)。

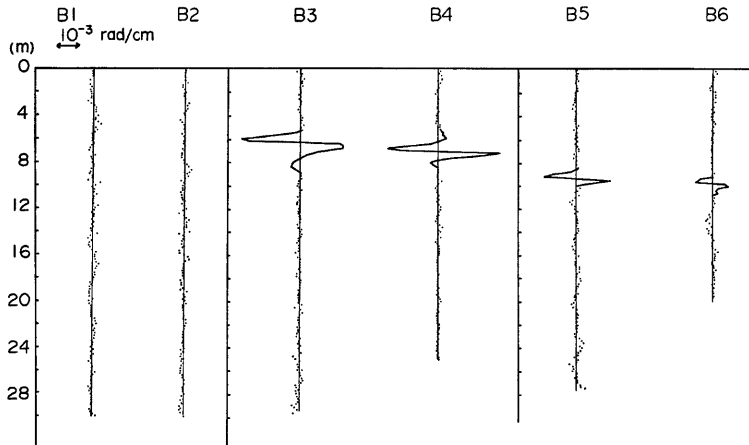


Fig. 9. Distribution of differentiation of angle of inclination.

なお我々の試作した挿入式の傾斜計はアメリカの SINCO 製のものとは異り²⁾、パイプの溝に沿って動く車輪の代りにボールを使ってパイプの中を滑らすようにした。パイプに溝が切ってあって、塩ビパイプの曲りがゆるい場合には、SINCO 製のものの方がセンサーの方向もきっちり定り、測定値の精度も高いが、そうでない場合には使用できないという欠点がある。ここでは精度は落ちるが溝の切っていない場合にも使用出来るボールを使ったものを用いて測定した。

系統的な変動をパイプの曲りと判定する観点から 6 本のパイプを見てみると、B1 および B2 にはパイプの曲りは設置後 54 年 12 月 12 日に至るまで発生しなかったと判定できる。これら 2 種の挿入式の測定器は使用前にその特性をチェックできるため、その信頼度は高いから、パイプの曲りの存在、形態の確認にはこれらの機種に頼る方がよいといえる。この観点から B1 および B2 のパイプ歪にみられる多少の変動はノイズ的なものであると考えた。

Fig. 9 に示されたものは、その測定の向きが谷の方向にパイプが曲った時に最大値をとるようにしたものであるが、B3～B6 に於てはいずれも典型的な層すべり的な地すべりに対応するパイプの曲りが出現している。

すべり面の深さは、傾斜角の微分量が S 字形に変化する間の中間の零となる点がすべり面であると考えて求めた。またすべり量は、傾斜角の微分量が零からずれ始める点の傾斜角（鉛直角から測っている）を基準として計算した各測定点の角度を θ_i とし、測定点の間隔を l_i とすれば次式によってすべり量 d は算出される。

$$d = \sum_i l_i \sin \theta_i$$

累積区間は傾斜角の微分量が零からずれている S 字形の変動曲線の上端と下端の間とする。このように挿入式の傾斜計から算出されたすべり量とすべり面の深さは次のようになる。

	すべり面の深さ	すべり量
B 3	6.4 m	8.5 cm
B 4	7.0 m	4.2 cm
B 5	9.4 m	2.9 cm
B 6	9.6 m	0.9 cm

この中 B6 には、その設置時期が 9 月 30 日以後であったため、その時の豪雨によるものは入っていない。B6 のすべり量が小さいことにはこのような事柄も関係しているのかも知れない。

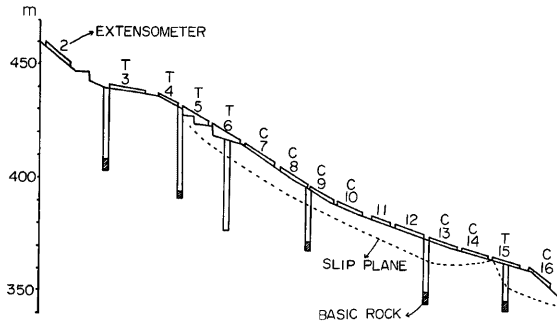


Fig. 10. Characteristics of sliding of soil mass
T: extension, C: compression.

B 3 から B 5 まですべり量の大ききの傾向をみてみると、最上位の B 3 が最大で、下方に下るにつれて次第に小さくなっている。これは B 3 から B 5 に至る 測線 沿いのすべり面の深さに縮みが生じていることにもなる。一方、伸縮計 E 7 から E 12 の間の地表伸縮量をみてみると、E 11, E 12 を除き、9 月 30 日、10 月 18 日に顕著な縮みが生じているが、地中の動きに対応した移動特性であり、調和的なものである。

3. まとめと今後の問題

以上地表面の伸縮計、傾斜計、地中内部の歪測定器による 3 種の観測結果を総合して、第 1 測線の移動をモデル化すると、Fig. 10 のように 2 つのブロックに分れる。すべり面の深さは基岩と風化土層との境界ではなく、表土層あるいは風化土層の中にあるようである。

9 月 30 日、10 月 18 日、19 日頃の土塊変動の動きが急であったため、その動きに対しては伸縮計の記録紙の送り速度も遅すぎ、またパイプ歪計の計測のサンプリング間隔も荒すぎた。そのため、土中、地表面の変動の伝播の速さ等は把握することができず³⁾、時間的変化に関してはごく概略的なものしか把握することができなかったが、今後はほぼ連続的に記録の採れる装置を導入して、地すべり変動の機構的な解明を進めていくつもりである。

観測を行うに当りましては、徳島県砂防課、脇町土木事務所および地元の方々に大変お世話になりました。また防災研究所技官西正男氏には挿入式傾斜計を試作していただきました。これらの方々に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 島 通保, 竹内篤雄: 地中内部歪の測定方法について, 地すべり, 第10巻, 第2号, 1973, pp. 6-17.
- 2) 大矢 晁: 高精度傾斜計の精度と適応性, 応用地質, 第18巻, 1977, pp. 13-25.
- 3) 島 通保, 末峯 章, 小西利史: 地すべり面における破壊伝播速度について, 京都大学防災研究所年報, 第20号 B-1, 1977, pp. 199-208.