

パイプひずみ計について

高田 雄次・湊元 光春

ON THE PIPE STRAIN METER

By Yuji TAKADA and Mitsuharu TSUMOTO

Synopsis

The authors have devised the slide type pipe strain meter which was composed of sensor, guide vinyl pipes and slide mechanism, and have several merits comparing with ordinary type. Namely, it can measure the continuous strain from the surface to the bottom of bore hole, which can confirm the depth of a slide surface in the case of slide having thin clay layer what we call layer slide type, and so on.

The authors measured the slide surface at a landslide area using it, and found the being of deep slide surface.

1. はじめに

地すべり研究において、すべり面の深さを知ることは不可欠なことである。このため以前からすべり面測定法が数多く考案されてきたが¹⁾、一長一短があり、これらの測定器はすべり面測定の決定的方法とはなり得なかった。山口らは²⁾これらの測定法を土台にして、新しい型のすべり面測定器—パイプひずみ計—を考案した。パイプひずみ計はすべり面が2・3カ所にあっても測定できるのは勿論、土塊中の移動形態についても解析されうるという特長をもつ測定器である。そのため地すべり研究が飛躍的に促進されてきた。室内実験を基に地中土塊の移動形態として中抜け現象が生じていることを明らかにできたし³⁾、地表面移動量とひずみ量の関係から地中の動粘性係数を求める試みなどが行なわれ⁴⁾、さらにひずみ量の変化から地すべり予知の手段にも有効であろうことなどが次第に明らかにされつつある⁵⁾。

一方このように地すべり研究に欠くことのできない測定器となった現在、測定器自体に対する検討も行なわれるようになり、欠点もいくつか指摘されてきた。筆者らはこの欠点を改良するために新しい型のパイプひずみ計を試作したので、ここに報告して批判をえたい。

2. 従来のパイプひずみ計について

パイプひずみ計（今まで地中内部ひずみ計と呼んでいた）は35mm~60mmの外径をもつ塩化ビニールパイプの表面にひずみゲージを一定間隔（通常は2m）で貼り、防水防湿コーティングを施したものをセンサー部として、ボーリング孔中に埋設して、土塊移動にともなうパイプの変形をひずみ量に変換して測定し、土塊移動の深さを知ることのできる計器である。センサー部は固定されているために測定深度は固定である。したがって、うすい粘土層を境ですべりが生じているような場合、ひずみ量が全く測定されない場合が生ずるので、センサーの間隔を50cm以下にする必要をのべている⁶⁾。センサーはすべて地中に埋設してしまうので、感度は最低半年は変わらないという仮定のもとに解析が行なわれている。Fig. 1はパイプひずみ計埋設時より直ちに解析したひずみ柱状図であるが、ひずみ変動が激しく一定のひずみ量の増減傾向はみられない。このようなひずみ量の変化は埋設後1年以上経過した測定にもみられる。この場合土塊が変動し

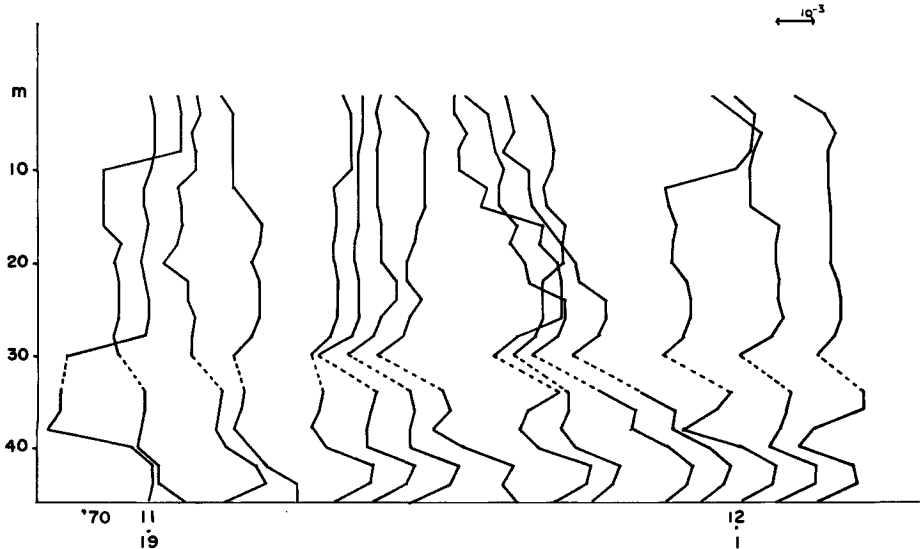


Fig. 1 The strain pipe section measured by ordinary pipe strain meters, which shows a measurement of pipe strain from the beginning.

ている為に生じたのか、ゲージ等の故障によるかはっきりしない。これらの判断はひずみ計解析者の経験により各々判断している。

このようにパイプひずみ計についての問題点をあげると次のとおりである。1) 測定する深さと間隔が固定されるので、層すべりのようなすべりについてすべり面がほやけるか測定できない場合が生ずる。2) 一度埋設されたパイプひずみ計のセンサー部は動作しているかどうか check できないし、修理できない。したがって防湿防水能力の低下などによって生ずるノイズのため、長期間の連続観測ができない。3) 深層すべり面を測定しようとする場合、センサーからの電線が増し、測定間隔が必然的に制約される。4) パイプの変形の激しい場所では、センサーの間隔を密にしてひずみ柱状図を作らないと変形の様子から土塊の移動を正確に把握できない。などのことがあげられよう。

3. 測定器について

2でのべたような従来のパイプひずみ計の欠点を補うような新しい計器を考えるとすれば、1) 固定された深さだけ測定するのではなく、連続測定が可能であること、2) センサーの検定が容易にできること、3) パイプの変形に対して容易に挿入が可能なるもので、穴曲りによって挿入できないことをできるだけさける。(1) 2) より挿入型となる) 以上の3点に留意して改良を試みた。Fig. 2 に本計器の概略を示したが、センサー部・ガイドパイプ・センサー移動装置の3つの部分からなっている。

センサー部： 材質は硬質塩化ビニールを用い、長さ1.5mで方位計・センサー本体・角柱棒と支え円筒を保護パイプで覆う構造になっている (Photo. 1)。当初ガイドパイプに溝を切ってセンサー移動によって生ずる回転を防ぐ方策を検討したが、工作がむずかしく、またこのような溝切りパイプは市販品がないので、センサーの回転によって生ずる方向は、方位計で補正することにした。ゲージを貼るセンサー部の断面は短形であって、N-S、E-W 方向のひずみ感度が異なるので、補正が必要であったが、断面形は正方形に改良した。

ガイドパイプ： センサーの外側のパイプで、ガイドパイプの変形に比例したひずみ量をセンサーで受ける。したがって、4m ほどのパイプの継ぎ目で挿入の障害にならないよう特に工夫した。(Photo. 2)

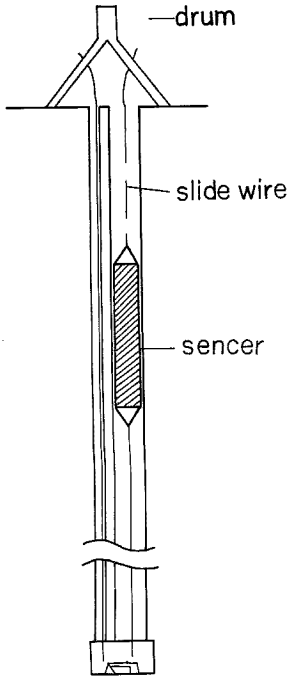


Fig. 2 The outline of new slide type pipe strain meter.



Photo. 1 The sensor part of new slide type pipe strain meter.



Photo. 2 The outline of the guide pipe.

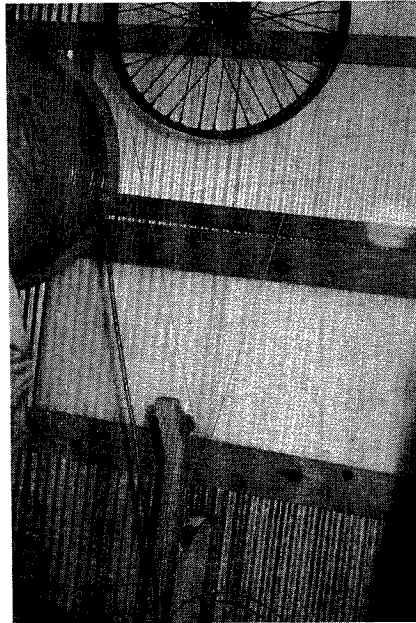


Photo. 3 The slide mechanism of the side type strain meter.

移動装置： センサーに固定パイプを取付け、測定に従って次々に継ぎ足して行く方法も考えた。この方式にすると、一定方向を何時も保つことができるので、方向の補正は必要なく便利である。一方測定時に 2 名必要で作業がとどこおり勝ちとなる。このためセンサーの移動をワイヤーを張って、このワイヤーの回転で行なう方式を取った。ワイヤー方式は、測定方位が一定にならないことの他に測定パイプと並べてワイヤーを通す細いパイプを必要とするなどの支障はあるが、測定作業の能率を第一に考えるとまずまずの方式であろう。**Photo. 3** は測定パイプとワイヤーガイドパイプの様子を孔口上からみたものである。

4. 測定器の検討

センサーをワイヤー方式で挿入するために方向が一定しない。測定器のひずみ感度が方向によって一様でないとい解析に大きな支障となるので、測定パイプを曲げた状態でセンサーを回転させ、N-S (A) 方向・E-W (B) 方向のひずみ感度を測定した。最初 B 方向を鉛直方向に、A 方向を曲げ方向におきこの時を 0° として、A, B 方向を時計と逆方向に 180° 回転させて測定した。したがって B 方向のゲージは曲げの中立線から曲げの最大点 (90°) を通り 180° の中立線までを、A 方向のゲージは曲げの最大方向から中立線 (90°) を通り曲げの最大方向の逆までの範囲を測定した。測定結果は **Fig. 3** に示すとおりで、ひずみ量の変化巾は A 方向で 980μ ストレイン、B 方向で 1015μ ストレインを示し、解析に際して 50μ ストレイン以上について議論する限り最大ひずみ方向は正確に把握できることがわかった。(Fig. 3)

ガイドパイプの曲げを保護パイプの中のセンサー部に伝えるため、若し挿入センサーの剛性が大きいとガ

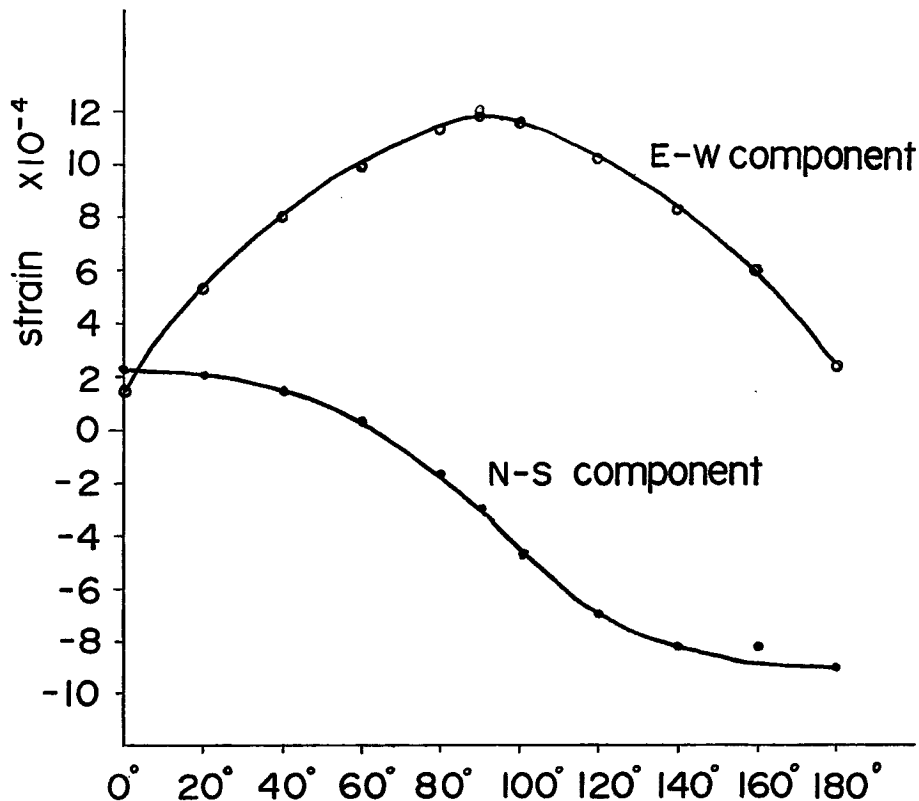


Fig. 3 The strains which were measured as N-S component and E-W component of the slide type pipe strain meter, when the guide pipe was bended.

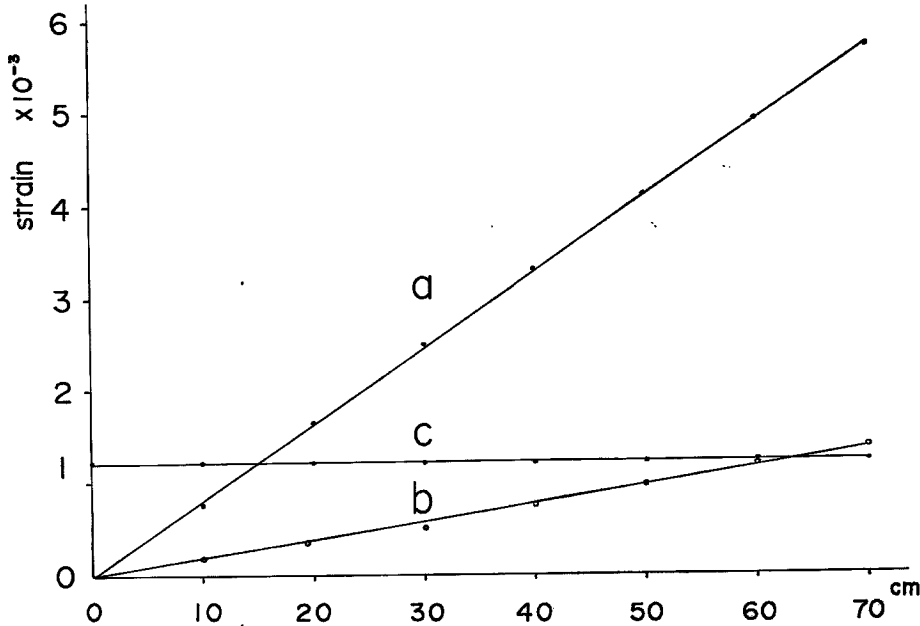


Fig. 4 The strain output relation between a guide pipe and a sensor when the guide pipe was bended from 0 to 70 cm.

イドパイプの曲げは忠実にセンサーに伝わらない。実際に使っているガイドパイプと同一規格のパイプの表面にひずみゲージを貼り、このパイプの境にセンサーを入れ2つのひずみ量を比較した。Fig. 4はその測定結果で、ガイドパイプのひずみ感度に較べて、センサーのそれは1/5である。しかも、ガイドパイプ上のひずみ変化量と比例したひずみ量がえられたので、センサーの剛性の問題はない。感度が1/5と少ない点多少不満もあるが、今後の研究課題としたい。パイプの曲げ度合が小さい時センサーの剛性が問題となるが、4mパイプを変形させた時の変位が10cm 20cmの時にも直線上にのっていることから、センサーはこの方式で充分と考えられる。更に図中のcはセンサーの中立方向のゲージのひずみ量変化で、変位を70cmとした時でも中立線の考え方が成り立っていることを示している。方位角解析の妥当性と中立線概念の妥当性から、かなり大きな曲げに際してもまた微少なパイプ変形についても、最大曲げ方向の推定は充分行ないうることが明らかである。

5. 測定および解析

改良型パイプひずみ計を使って実際に測定したのは、地すべりの規模で吾が国で最大と見られる新潟県東頸城郡の松之山地すべり地である。測定場所での移動方向はほぼ東方向であって、最も浅いすべり面は約10mに認められた。しかし地すべり形態から更に深いすべり面が存在する可能性が強く、今回70mまでの堀さくを行ない、深層すべり面の存在の有無を調べた(Photo. 3)。測定は1m間隔で70mまで行なった。また挿入前にセンサーを鉛直した時のA, B両方向の出力を測定し、この値を基準ひずみ量零として、各深さのひずみ量を計算するようになった。

Table 1は測定の一部であって、A, Bは夫々N-S, E-W成分のひずみ量であり、 θ はAが仮りにN-S方向を向いているとした時にA・Bより計算される最大ひずみを受けた方向、Dは方位計で測定したN-S成分の方位を示している。ADは θ とDの値から計算される最大ひずみを受けた真の方向である。表の最後の欄には最大ひずみ量を 10^{-3} で示した。挿入のときはN-S成分のひずみゲージのうち、測定ゲージを真

Table 1 One of the data which were measured by new type pipe strain meter. A, B are N-S, E-W strain components respectively. θ ; maximum strain direction when assuming that the measuring gauge of N-S component is found in N direction, D ; true direction of the measuring gauge of N-S component, AD ; max. strain direction calculated by θ and D , strain; shows the maximum strain along AD direction.

| depth (m) | A | B | $\tan \theta$ | θ | D | A D | strain |
|-----------|-----|------|---------------|----------|------|------|--------|
| 1 | 53 | -108 | 2.038 | N43W | 278° | 215° | 120 |
| 2 | 113 | 108 | 1.046 | N46E | 88 | 134 | 156 |
| 3 | 58 | -20 | 0.345 | N19W | 326 | 307 | 61 |
| 4 | 128 | 128 | 1.000 | N45E | 262 | 307 | 181 |
| 5 | 53 | -5 | 0.091 | N 5W | 237 | 232 | 53 |
| 6 | 33 | 30 | 1.146 | N42E | 355 | 37 | 45 |
| 7 | 48 | 55 | 1.889 | N48E | 366 | 314 | 73 |
| 8 | 45 | -85 | 0.624 | N62W | 165 | 103 | 96 |
| 9 | 45 | 53 | 0.085 | N31E | 40 | 71 | 100 |
| 10 | 118 | 10 | 0.624 | N 4 E | 272 | 226 | 118 |

北に合わせて挿入するが、Table 1 の例でわかるとおり挿入後にセンサーは回転している。なお、Photo. 1 でわかるとおり A, B 両成分を取出す塩化ビニールの断面形が違っているために生じる A, B 両成分の感度の差は計算によって補正した。

Fig. 5 は Table 1 のように測定し計算した値について、各深さでパイプがどの方向にひずみをうけたか

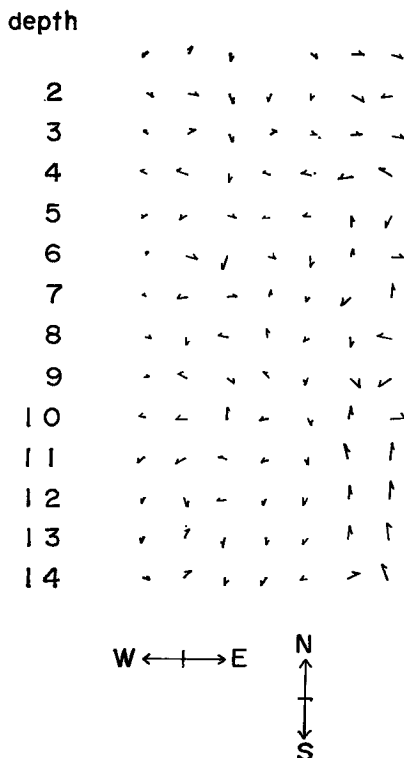


Fig. 5 The results of the analysis by the slide type pipe strain meter.

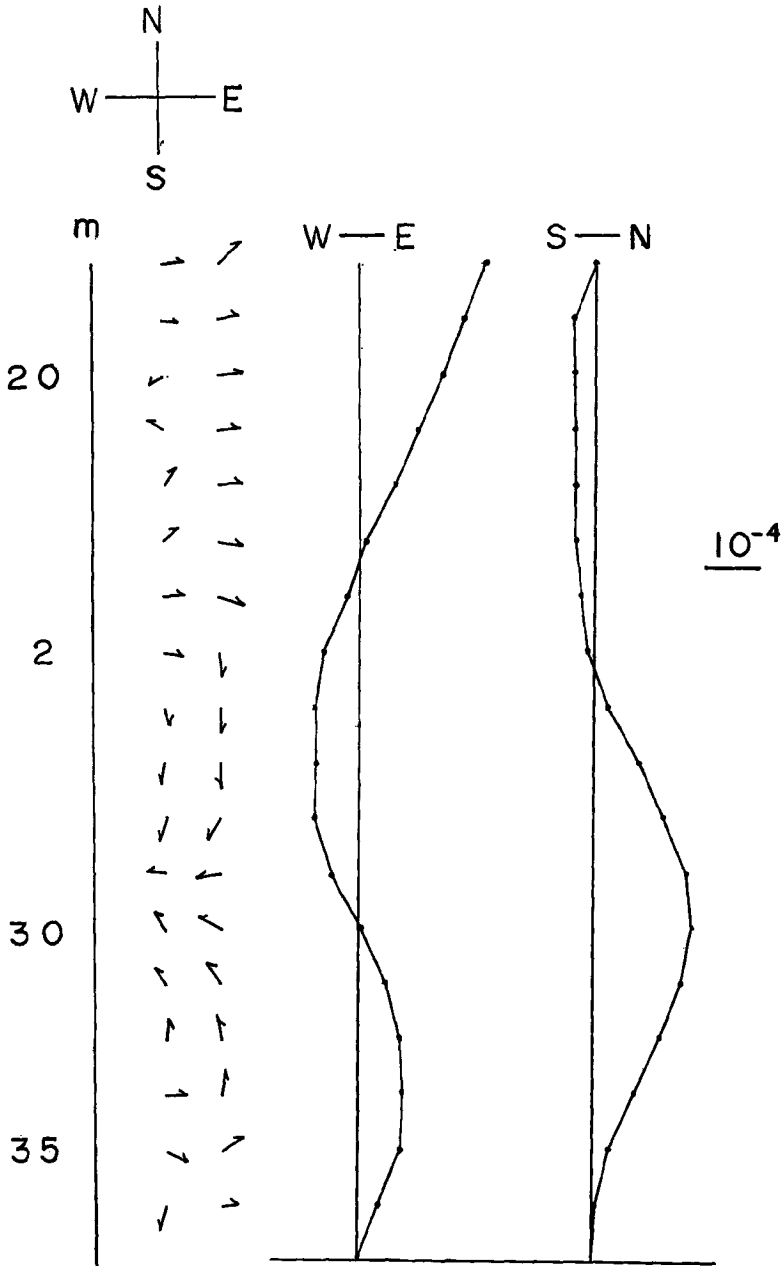


Fig. 6 The result of the measurement by the slide type pipe strain meter. The right-side two figures show the N-S and E-W components of the pipe deformation when the guide pipe was pushed in underground of Matsunoyama landslide area.

ひずみ量とともに示した。矢印の長さはひずみ量に比例した大きさを示した。このようにして、深さごとにどの方向にどの位のひずみ量をうけているか推定できる。Fig. 6 は深い場所で測定した例であるが、これからもパイプのひずみ方向がわかる。前述の如く、測定した場所の表面移動方向はほぼ東であるが、浅いところでは (Fig. 5) その傾向ははっきりしないが、深いところでは、最大ひずみを受けた方向 (すべり方向と考えられる) は東方向 (西方向のひずみは反力) となっており、充分納得できる結果がえられた。パイプの変形が N-S 方向と E-W 方向とにどのような形で投影されているか、Fig. 5 に示したが、土塊移動にもなうパイプ変形は 2 次元的な変形でなく、3 次元的に変形している様子が理解される。

挿入型パイプひずみ計の解析はセンサーが一定の方向を保てない為に複雑な計算が必要となる。吾々の目的は地中のすべり方向の測定が主でなく、すべり面の深さの正確な把握にある。したがってこのような面倒な手続きを踏まずにすべり面の解析ができれば好都合である。そこで、 $A \cdot B$ 成分のひずみ量から計算される最大ひずみ量に着目してみた。

Fig. 7 は方向は全く無視して、1 m ごとに測定した各測点での最大ひずみ量を測定日ごとに分けて描いたものである。図によると、4月から6月にかけて 19 m 附近に大きなひずみが生じているので、19 m 附近に 1 つのすべり面が形成されていたものと推定される。日が経過して 7 月中旬になると、58 m~70 m の深い層にひずみ量の増加があらわれているので、このあたりの土塊移動が生じたものと思われる。ひずみを受けている層が厚いので、すべり面の深さは指摘できないけれど、恐らくは中抜け状のすべりがあったものであろう。上部のひずみ量の変動と下層のひずみ量の変動は、6 月 23 日を境に明らかに区別される。即ち融雪期には上部すべり面の活動が盛んであったものが、長雨期に入ると深層のすべりが卓越したことがみられる。この事実は今まで第三紀層型地すべりの移動形態とはやや異なっており⁷⁾、松之山地すべりの移動機構について、今後測定を継続して解明してみるつもりである。

筆者らが解析したひずみ方向、最大ひずみ量、パイプの変形形状など、今までのパイプひずみ計からは容易に解析できるものが、改良型では非常に面倒な計算を行わねばならないことは否定できない。しかし上

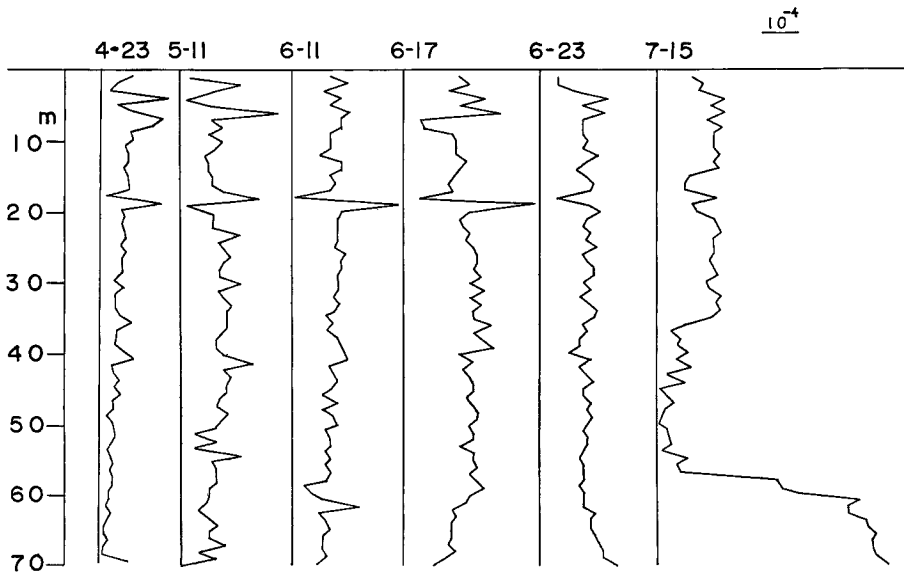


Fig. 7 The maximum strain direction and maximum strain which were measured by the pipe strain meter, which has measured from the surface to 70 meters depth in order to check a slide surface in deep soil.

にのべたとおり、最大ひずみ量の深さごとの変化量をみると、土塊中の移動方向はとにかく、すべり面の深さの推定や移動機構の鮮明は充分であることがわかった。

6. 結 語

従来のパイプひずみ計の欠点を補うために、改良型のひずみ計を試作し地すべり地で測定し解析した結果、土塊中の移動方向とひずみ量を適確に把握することができた。土塊中の移動方向・パイプの変形状況を把握するのに充来の方式より複雑な計算をしなければならない。充来の方式でもその目的はすべり面の深さと土塊移動形態の解明であるから、複雑な計算で充来の図式を導き出さずとも、新しい図式解析ができればよい。改良型では最大のひずみ量の深さごとの変化図が、充来のひずみ柱状図と経日変化図を兼ねたものとなっており、すべり面の深さと土塊移動の機構解析が充分行ないことがわかった。

今回発表した資料は測定値の一部で、改良型について更に検討を加えまた資料解析を行なって、地すべり研究を進めて行くつもりである。本研究は文部省科学研究助成金の一部を使用して行なったものである。

終りにあたり、本研究に際し終始御助言を給わった、京都大学防災研究所山口真一教授に感謝の意を表わします。また現地で測定・特に計器の改良に参加され本研究の陰のすい進者である新潟県松之山地すべり調査事務所樋口秀雄氏に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 福岡正巳：地すべりとその対策，オーム社，pp. 62-72.
- 2) 山口真一：福島県与内畑地すべり調査報告書，昭35，福島県。
- 3) 湊元光春：栃ヶ原地すべり地帯におけるすべり面の測定（予報），地すべり研究，第1集，昭30，p. 37.
- 4) 竹内篤雄：日本の地すべり地における粘土の粘性係数について，地すべり，Vol. 3, No. 1, 昭41, pp. 31-36.
- 5) Takada, Y.: A Geophysical Study of Landslides, Bull. Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Vol. 18, Part 2, 1968, pp. 59-77.
- 6) 中村浩之他：地中歪計による地すべりすべり面判定の一考察，地すべり，Vol. 6, No. 1, 昭44, pp. 1-10.
- 7) 新潟県：昭和37年地すべり調査報告書，新潟県，昭37，pp. 56-63.