

破碎帯地すべりにおける地すべり横断移動形状 (水平動, 上下動) の測定結果について

——試作したセン断変位計64台の設置結果より——

佐々恭二・仲野公章・武居有恒

The results from measuring the configuration of horizontal and vertical
movements on a line crossing landslide in the crushed zone

——from observations made with sixty-four newly
designed shear-deformation meters——

Kyoji SASSA, Masaaki NAKANO, Aritsune TAKEI

目 次

要 旨.....98	4. セン断変位計による地すべり横断 移動形状測定結果..... 102
1. 破碎帯地すべりにおける地すべり 横断移動形状測定及び測定機製作 の意義.....99	5. 地すべり横断移動形状測定より得 られた破碎帯地すべりの移動形態 の特徴..... 107
2. 試作したセン断変位計の構造及び 性能.....99	引 用 文 献..... 111
3. セン断変位計の設置地域及び設置 位置について..... 100	Résumé 111

要 旨

破碎帯地すべりに対して, 新らしく設計, 製作したセン断変位計を用いて計測機による地すべり横断移動形状測定を行い, どこからどこまでが動いているかわからないと言われるほど複雑な動きをする破碎帯地すべりの移動形態について大略次の事実を知ることができた。

- ① 破碎帯地すべりにおいてその移動状況が地形的にわかりにくいのは, 主として地すべり移動自体が一定のパターンを持っていず, 多種多様の動きをするためであること。
- ② 上下動が水平動を上回る規模で生じており, その変化形は地下谷形状に強く影響されていること。
- ③ 上下動, 水平動とも雨の少ない平常時にもかなり大きく動いており, その主たる原因は絶え間なく続く地下侵食の影響が考えられること。
- ④ 地表面形状の凸地が沈下し, 凹地が相対的に上昇する場合がかなり見られること。

1. 破碎帯地すべりにおける地すべり横断移動形状測定 及び測定機製作の意義

破碎帯地すべりの特徴は、第一に中央構造線に沿った地域など地下構造が破碎された地域にあること。次に斜面傾斜が急で、大雨の際に大きく動くこと、そして地すべりの境界すなわちどこからどこまでが動いているのか明確でないことである。地すべりの境界が不明確なことから移動形態、移動形状もまた不明確である。地すべりの移動形態、移動形状は地すべりの機構と密接に関連しているので、移動機構、予知、防止工法を考える上でこの把握は欠かせない。

移動形態としては地すべり縦断方向に関するものと、深さ方向に関するものと、横断方向に関するものの三つがあり、地すべり縦断方向に関しては伸縮計、深さ方向に関してはパイプヒズミ計が各々開発されているが、地すべり横断方向に関する測定機は考案されておらず、地すべり横断移動形状の観測もクイ打測量をのぞいて行われていない。このことが破碎帯地すべりのような複雑な動きをする地すべりの移動形態、移動機構の解明を妨げている一大要因であると考え、地すべり横断移動形状の測定を目的とする測定機の製作とそれを用いた観測を試みた。

一般に三次元空間における二点間の相対変位の確定には三つの独立な変位の確定が必要である。すなわちその軸方向の伸縮と軸と直角二方向へのセン断変位である。伸縮計は伸縮のみの観測であるためその方向と直角な二方向のセン断変位すなわち上下動や左右への動きがあれば誤差となる。パイプヒズミ計は一方方向のセン断ヒズミの測定なので、それと直角方向のセン断ヒズミのある時や伸縮のある時は誤差となり、またパイプヒズミ計はセン断ヒズミの測定であってセン断変位の測定ではないので変位量＝移動量への換算には困難がともなう。新しく製作する測定機はこの欠点をなくするため三成分の測定を目的とした。すなわち軸方向の伸縮とそれと直角二方向のセン断変位であり、この三つによって測定機両端の地盤の相対的動きは完全に把握できる。しかし今回製作した三成分測定機は経済的理由より、地すべり横断形状測定に対して比較的重要性の低い地すべり横断方向の伸縮は大変位が生じた時のチェック機能のみとした。そして主力を地すべり横断方向に対する上下方向と水平面上の地すべり移動方向の二つのセン断変位の測定においたので、この測定機をセン断変位計と名づけた。

セン断変位計の製作、設置により地すべり横断上下動、水平動の経時観測が可能となり、伸縮計・パイプヒズミ計の観測のみでは不明確であった破碎帯地すべりの移動形態がかなり明確に知り得るようになった。そして破碎帯地すべりの移動機構の完全な解明は遠い先の話しとしても、移動機構を考える上で重要な資料を得ることができた。

2. 試作したセン断変位計の構造及び性能

セン断変位計の構造はコンクリート杭を約 5m 間かくに打ち、一方に上下、水平回転可、伸縮可の支点を設け、他方に上下、水平回転可、伸縮不可の支点を設け、その支点間に鉄パイプを通す。鉄パイプの延長上にゲージを貼ったリン青銅板を取りつけ、これを固定したスリットではさむことにより二点間のセン断変位を鉄パイプの回転に変換し、さらにこれをゲージのたわみに変えてストレインメーターで読むか自記記録させるものである。Fig. 1 は水平動測定のセン断変位計の模式図であり、伸縮及び上下動の影響は完全に除外されている。この形のものの24台を Fig. 5 の F 測線に設置し、水平動、上下動共に測定できるようにリン青銅板、スリット共に水平、鉛直二方向に取りつけたセン断変位計40台を E 測線に設置した。そして二点間の伸縮のチェック

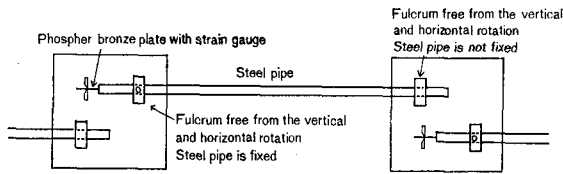


Fig. 1 Shear deformation meter

用いれば、より正確に容易に伸縮測定ができる。)

上の構造の特長としては

- ① 伸縮と上下動と水平動が各々独立に取り出せ、一つの動きの成分に他の二つの動きの影響が出ないこと。
 - ② 伸縮はチェックにとどめたが、二点間の相対位置を定めるに必要な三成分すべてが求められること。
 - ③ 測定精度がスリットとゲージ固定部の間かくの調節により連続的に変えられること。また2ゲージ法と4ゲージ法の選択によっても変えられる。
 - ④ ゲージの交換が簡単にでき、現場での校正も容易にできること。
- があげられる。

セン断変位計の感度は調節可能であるので、現在設置しているものは地すべり移動量の規模と換算の便宜を考慮して、若干の上下はあるが、5m 間かくに打った杭の間で 10mm の水平または上下のセン断変位があった時 (セン断ヒズミにして 2×10^{-3})、 1000×10^{-6} ストレインになるように調節した。その校正曲線は Fig. 2 に示すものである。2ゲージ法、4ゲージ法にすればあ

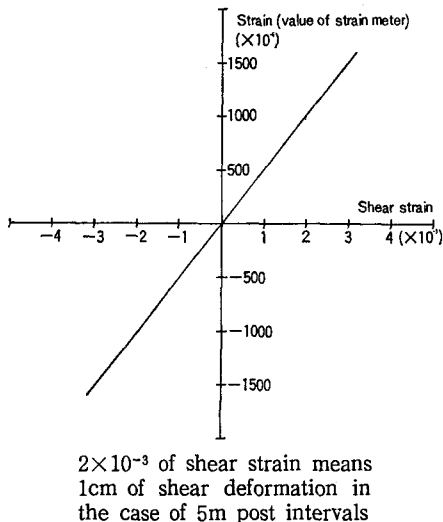


Fig. 2 Calibration of shear deformation meter

る程度自動的に温度補正がなされるが、ゲージの温度特性の違いのために多少の温度変化が出る。それを調べたものが Fig. 3 である。10°C の温度差で 5×10^{-6} ストレイン、すなわち 5m の杭間の変位にして 0.05mm の変化が出ることになる。(これは現在セン断変位計を設置している善徳地すべりの移動量 Fig. 6~8 に比して無視し得るものである。)

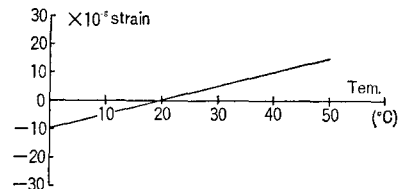


Fig. 3 Thermal characteristics of shear deformation meter

3. セン断変位計の設置地域及び設置位置について

破碎帯地すべりの多くは四国を横断する中央構造線に沿って発生している。四国の破碎帯地すべりは大きく三波川結晶片岩類の地すべりと御荷鉾緑色岩類の地すべりに分けられ、地すべりの

は伸縮可の支点とパイプの相互位置をパイプに刻みを入れることにより行った。(パイプの伸縮に対する温度補正はパイプの熱膨張係数の測定と伸縮測定時の気温測定より行っている。重要性と経済性のかね合いよりチェックのみとしたが、インバール線とゲージを

規模において前者で最大級のものは徳島県砂防課で調査、工事を行っている善徳終すべりであり、後者で最大級のものは高知営林局で調査、工事を行っている平谷地すべりと思われる。（筆者及び防災研池田地すべり観測所の古谷氏の見聞による。）

我々は建設省、徳島県の協力により善徳地すべりを調査する機会を得た。そしてこの地すべりが三波川で最大級の規模を持っていること、三波川地域の地すべりは三紀層地すべりに似た動きをする御荷鉢の地すべりより動きが複雑と思われることから、この地すべり地に地すべり横断移動形状を測定するセン断変位計64台（他に伸縮計25台、パイプヒズミ計13本）を設置することにした。

善徳地すべりの位置は Fig. 4 に示すものであり、平家の落武者が作ったといわれるかずら橋のある所である。地すべり地の全域は巾が約2km、長さが最大1.2kmと広大であり、勾配は平均26°の急な斜面である。斜面上と祖谷川沿いの県道池田久保線両側に合計100戸ほどの人家と商店がある。善徳寺すべり地では昭和20年、24年、29年、40年の台風、大雨の際に県道が50～200mにわたってくずれ落ち、祖谷奥へ通ずる唯一の交通路を断じた他、道路よう壁の倒壊、ヒビ割れ、人家の傾き、田畑の陥没、ヒビ割れなど数多くの被害が発生しており、最近でも49年の台風の際にダム、水路、道路よう壁のヒビ割れ、傾き、崩壊による田畑の流出、県道の一部の沈下等が生じている。そして特に地すべりの激しい所は善徳東（人家約40戸）の谷荒谷地区であるので、この地区を中心に調査を行った。この地区の地質は砂質片岩、泥質片岩、一部に珪質片岩よりなり、流れ盤的に斜面を構成している。Fig. 5 はその地形図であり、図中のA～H測線は合計4.1kmの弾性波探査の測線であり、縦横に線を引いた所が弾性波探査の結果より判明した低速度層（破碎帯）であり、横線を引いた所は基岩表面の凹み、すなわち地下谷の位置である。

セン断変位計は昭和48年10月にF測線に24台（水平動測定、伸縮チェック）と昭和49年3月にE測線上に40台（水平・上下動測定、伸縮チェック）を設置した。F測線セン断変位計は計器による地すべり横断移動形状測定の最初の試みであることから、確実に動いている所で設置、観測、保守の容易な所と言う条件よりF測線の道路沿い120mの区間に設置した。E測線セン断変位計は地下構造のわかっている弾性波探査測線と一致させること、地すべり移動の大きい所、また破

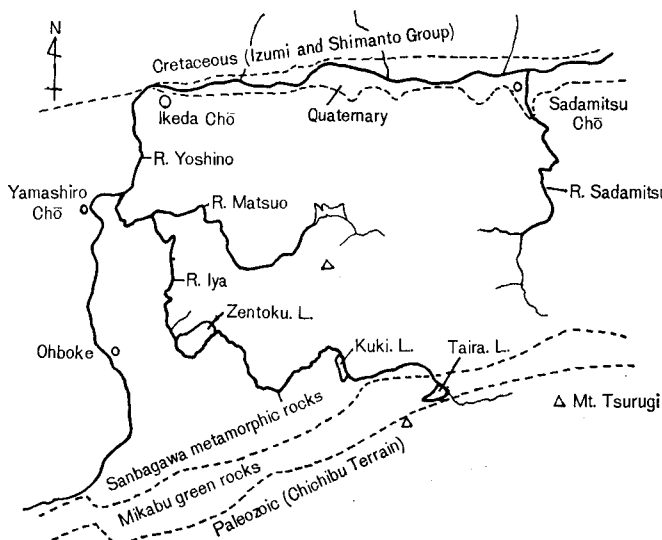


Fig. 4 Location of Zentoku landslide



①, ② : Lines of shear deformation meters
Fig.5 Zentoku landslide

碎帯地すべりの移動機構に重要な意味を持っていると考えられる地下侵食が激しいと思われる所、地下谷及び不動地と考えられる部分を横断することを条件に過去の調査の結果を参考に Fig. 5 の①の位置に設置した。^{1),2),3)}
⁴⁾

4. セン断変位計による地すべり横断移動形状測定結果

4-1 データ整理方法

毎週読みとったデータは2ヶ月毎にその月の初めの週の値を初期値として変動量（マイクロストレイン）を求め、これにキャリブレーションより求めた係数を乗じて変動量（mm）を計算する。これの経時変化のグラフを書き、次にセン断変位計 No. 1 の値, No 1 + No 2 の値, No 1 + No 2 + No 3 の値……と累積値を計算してこのグラフを書き、地すべり横断水平移動形状と地すべり横断上下移動形状を求める。以上によって地すべり移動の短期的な動きを把握し、ついで長期的な移動形状を計算するために昭49年4月6日の値を初期値として1ヶ月毎に1月5日まで

の経時変化と移動形状を求めた。長期的移動形状と短期的移動形状に分けて整理した理由は、常と同じ動きが単調に進む場合には問題ないが、破碎帯地すべりのように様々な動きが時と場所と形態を変えて生ずる場合には、単純に移動量を累積すると、その各々の運動形態を把握することが困難であるからである。

4-2 F 測線セン断変位計測定結果

1. 昭49年度(4/5~1/4)移動形状 (Fig. 6-1) について

まず一ヶ月毎の長期地すべり横断移動形状のグラフを検討する。

F 7~13 の間の大きな動きと F14~F24 の二つの地すべり ブロックがあることを示している。そして 5/3 のグラフでは右へつづく大きな動きがあるようであり、これが 8/2 頃には左右端がほぼ同じであることから左下りの動きがあることを示しているが、これらの細部は 6/7 までの大きな動きに隠れて分りにくいので、2ヶ月毎のデータで検討する。また移動量は後述するように数値に若干問題があるかもしれないが、測線内での相対的移動量が約 30cm ほどあると考えられ、これに F 測線全体としての移動量加わる。6/7 までの平常時に大きな動きが出ている理由の一つは、この上方で道路を作っていてカッティング等を行なっているのもその影響かもしれない。昭48年度の観測によれば、1月頃から徐々に動いており、3月、4月頃の工事で促進されたかもしれないが、徐々に変形して来たものが、ついに側面、底面においてセン断破壊が生じて一気に動いたとの見方もできる。ただし破碎帯地すべりの多くの場合と同じく地すべり下部で圧縮が生じて動きが止まり数 10cm の移動で止まっている。そして秋の台風18号(9/8~10)の時はむしろ比較的安定になっているようである。

上にのべた 4, 5 月の大きな動きの数値には若干問題があるかもしれない。これはセン断変位計の校正が ± 2 cm 程度で行なっており、数 10cm の動きを想定していなかったためである。この時は移動量があまりに大きくて 5/10 にはゲージが破壊した。そのため現場へ行った時に別のゲージで破壊テストを行ったところやはり 30cm 程度で破壊することが分った。また大きな動きがあれば、二つの杭の間隔が変わるため二つの杭の間の鉄パイプが伸縮可の支点からぬけてくるか、入って行き、いずれにせよ支点で支えられている位置が変わる。筆者はコンクリート杭間の伸縮をチェックするために、鉄パイプに印をつけて伸縮を調べているが、この時は F 7 で鉄パイプが約 30mm もぬけており、これを生じさせるに要する移動も 30cm 前後の動きであることが分った。このように当初の想定範囲外の大きな動きであったが、約 30cm の移動があったことはほぼ確実と考えられる。

2. 2ヶ月毎の地すべり短期移動形状 (Fig. 6-2) について

4, 5 月: 先述の如く F 7~F14 間が 4/27 に側面、底面セン断破壊が生じたのか大きく動いている。この時期は雨はほとんど降ってはず (Fig. 9), またこの近くの No. 7, 8 のボーリングの水位も全く変動していない。このため局部破壊により徐々に動いて来たものが、ある時期に側面、底面セン断破壊が生じて一気に動いたと思われ、この動きを促進したものとしてこの部分の左上の部分での道路のカッティング、及び発破の影響が考えられる。

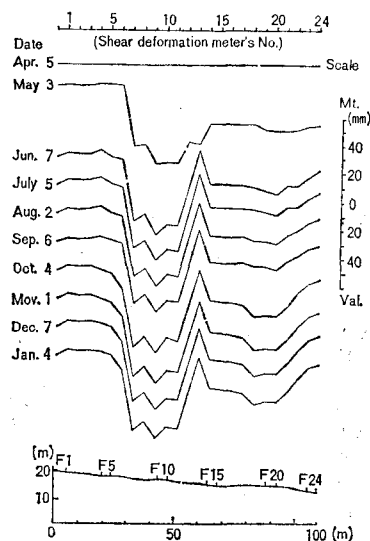


Fig. 6-1 F-line long term (in 1974) horizontal movement

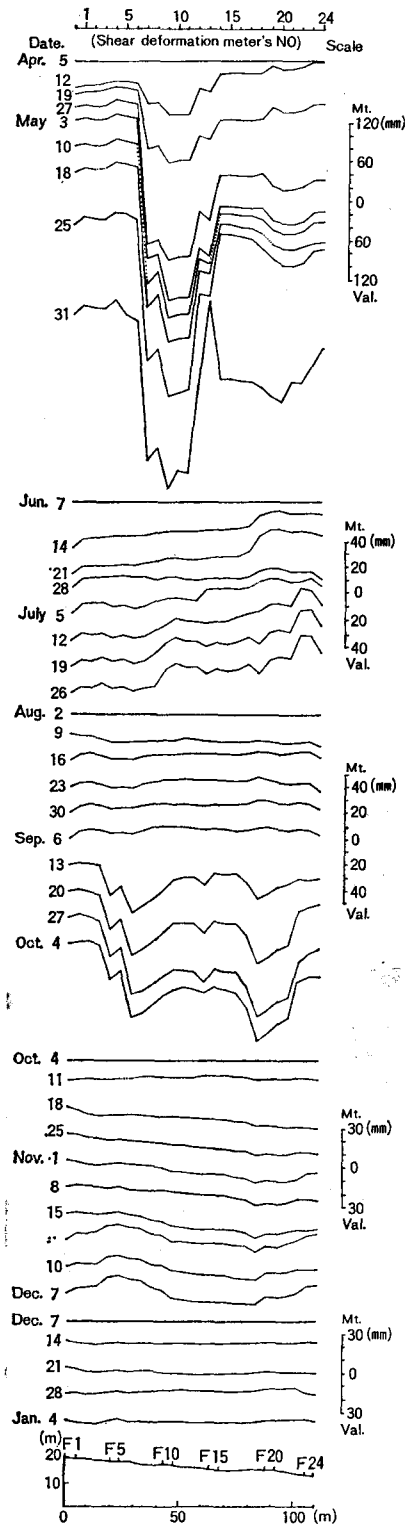


Fig.6-2 F-line short term (two months) horizontal movement

5/31の F13, 14間の杭の飛び出た動きは、この杭のみが一点だけ急激に出ていることから、何等かの人為的原因によって杭自体が山側へ傾いた（以前にトラックが方向転換する際、積荷の丸太を杭にぶつけたことがある。）のではないと思われる。なお5/25～5/31間には F1～F12 間にはほとんど動きがなく、F14～F24 間に小ブロックの動きがみられる。

6, 7月 : F9, F18, F22辺りで少しシャープに落ちながら全体として左下りの動きが出ているが、6/21～6/28の間には右下りの動きも出ており、シーソーに似た動きが見られる。（この種の動きは E 測線において特に顕著にみられる。）6, 7月には台風8号（7/6）が来ているが、どこが台風なのかかわからないほど平常時の動きが大きい。これは従来考えられている破碎帯地すべりのイメージからして注目に値することであり、E 測線においてはさらにこの傾向が明確である。

8, 9月 : 台風18号（9/8～9/10）の時に大きく動いているが4, 5月に大きく動いた F10 近辺は落ちついているようである。F4～F23 までが F7, F19 付近をピークとする小さな動きをとめないながら一連の動きをしている。

10, 11, 12月 : 全体に目立った動きは見られないが、10/4～12/7の間に少くとも 2 cm 程度動いている。これらの平常時の動きの考えられ得る原因については次節で述べる。

4-3 E 測線セン断変位計測定結果

地すべり横断移動形状を表わした Fig. 7, 8 を順次検討する。

A. 地すべり横断水平移動形状について

1. 49年度（4/6～1/5）移動形状（Fig.7-1）について

4/6～5/4は E24付近で少し切れ目が出ているがその他は小さい。6/1には E20 より右側の部分がたわんでおり、この動きの右端は E40 より先にあるようである。7/6には E3 と E24 で若干大きく動いた。これは7/6の台風8号の影響である。8/3はこの影響がさらに出て来ている。

10/6には9/8～9/10の台風18号のために大きく形が変わっている。E4～E15の地すべりブロックとE17～E28の地すべりブロックが見られ、又 E31～33と E38～E40の局所的な土地のずれが見られる。（この二つはいずれ

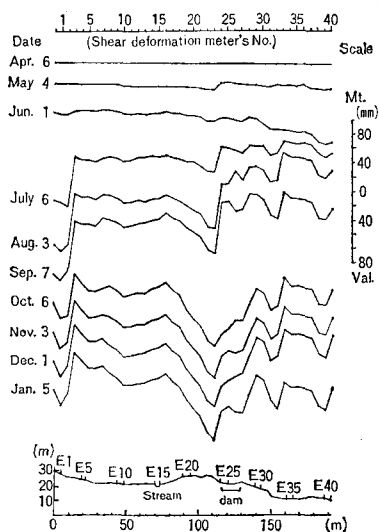


Fig. 7-1 E-line long term (in 1974) horizontal movement

も急な所であり、土地を形成しているゴロゴロした岩塊が少しずつ下がったものと思われる。) さらに E3 の部分の落ち込みが 1cm 程小さくなっているが、E1～E2 の部分が上へ移動することは考えられないので E4 または E4 とそれより右の部分が下がったと思われる。同じく E24 の落ち込みは 10/6 にはほとんどなくなっているが、これは E25 より右の部分が全体に 5～6cm 下がったと考えられる。E17～E23 までの部分の移動も考慮すれば、E17 から右の部分は少くとも 10cm 程度下がっている。E17 より右の部分の動きは 4/6～6/1 間に見られる動きと同質の動きと考えられ、'平常時にも台風時の動きと同じ動きが存在することを意味している。(これは上下動において特に顕著である。) この測線全体を見ると E4 の所、E16, 17 の所、局部的なずれを含む E30～E37 の部分が比較的安定しているように見えるが、10/6 の E3, E24 の変化から考えてこれらを含む大きな地すべりブロックと共に移動していると考えられ、当初の予想に反して測線内に不動地はないと考えられる。したがって移動量の絶対量は不明であり、各点間の相対移動またはタイトルに述べた地すべりの移動形状のみを知ることができる。

2. 2ヶ月毎の地すべり短期移動形状 (Fig. 7-2) について

4, 5 月は 5/25 までは E1～E24 が動き、5/25～6/1 までの間に大きく E24～E40 が右下りに動き、その動き

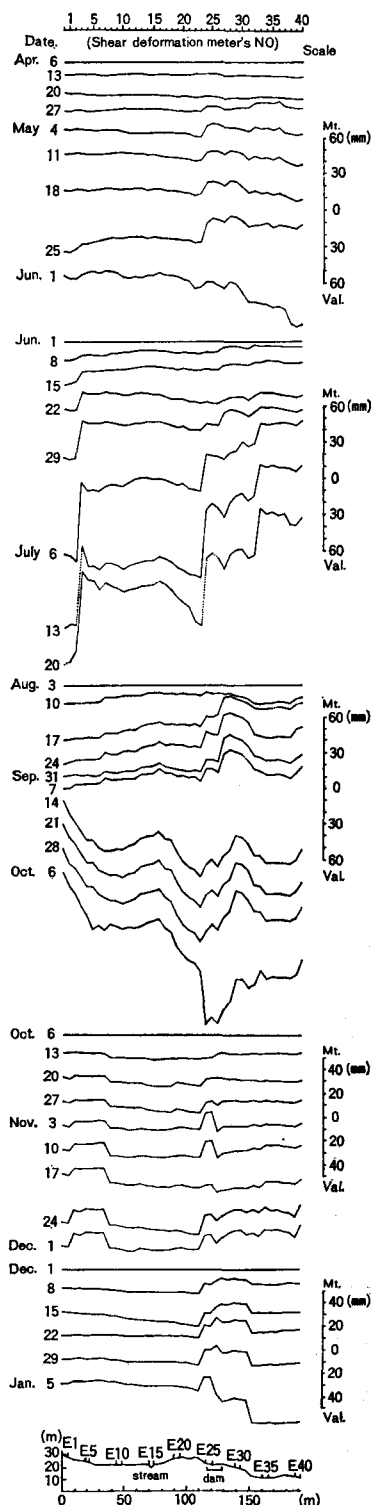


Fig. 7-2 E-line short term (two months) horizontal movement

の右端は測線外なので不明である。

6, 7 月は E3, E24, E33 を切れ目として左の部分が動いた。これも左の端が不明であり, Fig. 5 左端の破碎帯, 地下谷までつづいた一連または一塊の動きと考えられ, 先の E24 ~ E40 の動きは Fig. 5 右端の破碎帯, 地下谷まで含んだあるいはそれよりさらに右の部分を含んだ動きと考えられる。

8, 9 月も E9, E24, E37 近辺を中心とする小地すべりブロックの他, 先述の左, 右へつづく大きな地すべりが存在しそうである。

10, 11, 12 月は雨は少ないが数 cm の動きが見られ, 後にのべる上下動ほどではないが, 平常時 (Fig. 9) にもかなりの動きがあることがわかる。

以上より地すべり移動形態をみてみると, E 測線内より左, 右へつづく大きな地すべりがあり, その中に E3, E24, E33 など地すべり運動の一つの境界となる所があり, また E8, E23, E37 近辺を中心とする比較的小さな地すべりブロックが存在するようである。

B. 地すべり横断上下移動形状について

1. 49 年度 (4/6 ~ 1/5) の移動形状 (Fig. 8-1) について

E40 より左下がりの大きな動きがあり, おそらくこの動きの左端は Fig. 5 の左端の地下谷まで続いているものと思われる。E 測線弾性波探査地質推定断面図 (Fig. 11) にあるごとく, Fig. 5 左端の地下谷の左壁は大きな壁なのでこれを越えていることはまずないと考えられる。

他に E24 を中心とする動きが見られ, これは水平動と対

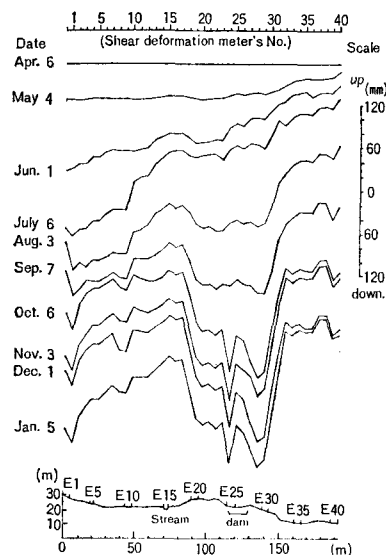


Fig. 8-1 E-line long term (in 1974) vertical movement

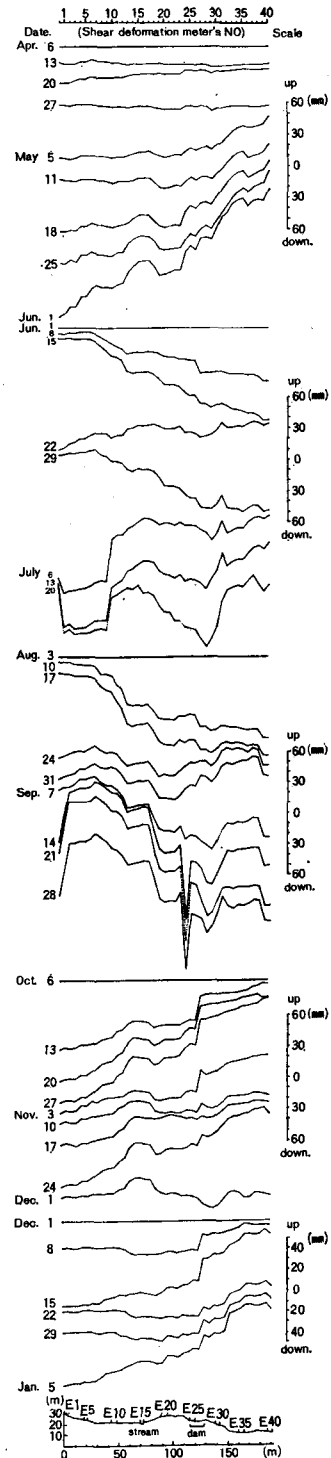


Fig. 8-2 E-line short term (two months) vertical movement

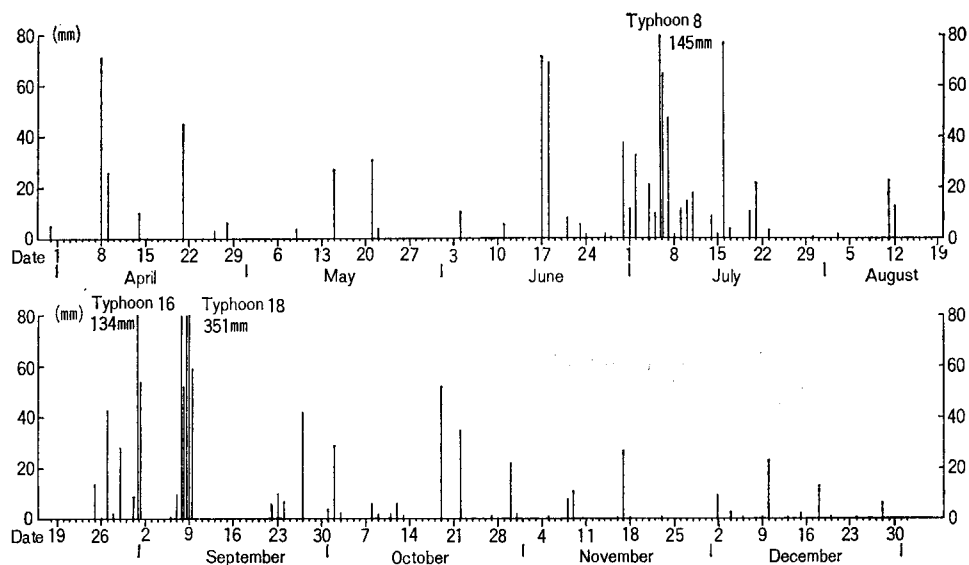


Fig. 9 Precipitation in Zentoku landslide

応している。

2. 2ヶ月毎の地すべり短期移動形状 (Fig. 8—2) について

4, 5月は左下がりの動きがあり, E10, E21 近辺に小さな凹みがある。この沈下形は後で述べるように基岩形状に極めて似ている。

6, 7月は右下りの動きと左下りの動きが交互に出ており, シーソーのような動きをしている。これはE測線水平動, F測線でも見られたが, 動きが大きいだけに最も明確な形で現れている。なお, E測線全体を含む剛体運動的な動きの存在の有無は測線内に不動地がないので不明である。

8, 9月は, 左右の動きの他に E1, 2とE24付近の動きがある。9/8~9/10の台風18号時の動きはかなり大きい, 平常時の8/3~8/17, 8/17~8/24や, 6月, 7月の7/6の台風8号以前の6/1~6/29のように平常時も台風時 (Fig. 9) と劣らない動きが見られる。水平動は台風時の動きの方が平常時よりもかなり大きいので, これは上下動の一つの特徴と考えられる。

10, 11, 12月は4, 5月に似た動きである。沈下量は平常時もやはり相当大きく一般に水平動よりもかなり大きい。

5. 地すべり横断移動形状測定より得られた破碎帯地すべりの移動形態の特徴

前節の測定結果より得られた破碎帯地すべりの移動形態の特徴と思われるもの, 興味を引く事象及びその原因についての推定を次の三つの項目に分けて順次のべる。

1) 地すべり移動の多様さと地すべり地形について

第一節にも述べたごとく破碎帯地すべりの特徴の一つはどこからどこまでが動いているのか, どのようなブロックが動いているのか明確ではなく, 地すべりの移動状況, 移動形態が地形に反映せず, 極めてわかりにくいことである。

この理由の一つは破碎帯地すべり, 殊に三波川結晶片岩地域 (Fig. 4) の地すべりの場合, 斜

面はザクザクの巨岩より構成されており、粘上や土が密につまっている土層に比して変形が地形又は地表面形状に現れにくいことがあげられる。しかし地すべりの動きはかなり長期的なもので、常に同じ所が同じ形で動いていれば、その運動は地表面形状に反映するはずである。

Fig. 6~8 をみると小さな動き（多分浅いもの）、大きな動き（多分深いもの）が重複して生じ、また左下り、右下りの動きのように F、E 測線全体を含む動きが生じており、動きのパターンは定まっていない。Fig. 6—1 の F 測線の動きをみると 6/7 以降 1/4 まで動きがないようにみえるが、実際は Fig. 6—2 にみるごとく色々な動きがあるが、ある期間累積すると各々の動きは打ち消し合ってわからなくなる。もっと短期的にみると Fig. 6—2 の 6/7~6/21 に左下りに動いたものが 6/28 には右下りに動いて元にもどった例や、Fig. 8—2 の 6/1~6/15 に右下りに沈下が生じたものが 6/22 には元にもどっている例、同じく 10/6~12/2 の間にもシーソーのような動きがある。（シーソーのような動きの左端は Fig. 11 の左端の地下崖である可能性が強いと思われ、右端は Fig. 5 の右端の上岡谷まで何等かの形で続いているかも知れない。）このように善徳地すべり横断移動形状の観測によれば、地すべり運動のパターンが定まっておらず、大小様々な動きが時と場所をかえて生じ、その動きも左下り、右下りの動きに見られるように必ずしもきれいなセン断面を持った剛体運動的又はビンガム流体的な動きはない。これが破碎帯地すべりにおいて地すべりの動きの境界がわかりにくく、また地すべりの移動状況が地形的にわかりにくいことの主な原因と考えられる。

2) 地下谷と上下動、水平動の関係について

Fig. 7—2, 8—2 の E 測線上下動と水平動を比較すると台風 18 号 (9/8~9/10) の際の E 24 近辺の地すべりブロックをのぞいて、同時期の両者の動きにはほとんど対応関係はなく、水平動と上下動は独自の動きをしていると言える。これは地盤の上下動が斜面方向への土層の移動の結果として生ずるのではなく、激しい地下侵食（地下谷上にあるボーリング孔では地下水がサラサラと、水量の多い時はゴーゴーと音を立てて流れている。また地下谷上の数本のボーリングにおいて掘さく中にロッドがストッと落ち込み、地下侵食による大空げきの存在を示した。弾性波探査垂直検層（4 本）を行うと基岩の上の層は地表附近よりも弾性波速度が低く、風化、侵食が地表よりも、むしろ基岩の上で激しく生じていると考えられることなど）のために地盤支持力が低下して沈下が生じているものと思われる。

一方長期的に上下動と水平動の関係をみてみるとかなり相関が深く、Fig. 7—1, 8—1 の一年間の変化をみると同様な形をしている。左下り、右下りの動きのあることも共通しており、また時期的にずれて同様な形の現れることもある。例えば Fig. 10 の上下動 4/6~5/18 と水平動 6/5~7/6 の動きがそれに相当し、共に地下谷の形を反映しているようであり、ことに上下動の形は弾性波探査で求めた地下谷の形に酷似している。地すべり移動の主因が地下谷における激しい地下侵食であると考えれば、表層の小崩壊をのぞいて上下動も水平動も地下谷に関連があるので——斜面方向移動の結果として水平動、上下動がある通常のすべりと異なるとしても——長期的にみると同種の動きが出ることは当然と言える。

Fig. 10 の下の地表面形状はセン断変位計の杭の上をレベル測量したものである。一方セン断変位形の杭間かくは地形的要因より多少長程があり、また道路のために 2~3 m 切れている所もあるが、Fig. 10 の上の測定機 No. では図の簡潔さと作図の便宜のために一応平均化して 5m 間かくに番号を打った。そのため図の上の地表変動観測結果と下の地表面形状の水平位置は数 m 違っている所もある。また Fig. 10 の E15 の所は水田のためのカッティング等で谷らしくないが、実際は水路があり、この部分の数 m 下を通る弾性波測線では Fig. 11 の 240m 地点にみられるご

とく谷地形をしており、
下流へ行くほどこれは明
確になっている。

上のことを念頭におい
て Fig. 10 の上下動と地
表面形状を見比べると、
地表面形状が凸または上
りの所は上下動では凹ま
たは下りであり、逆に地
表面形状が凹または下り
の所が上下動では凸また
は上りになっている。こ
れはこの図にあげた 4/6
～6/1の動きだけでなく、
Fig. 8 においてしばしば
これに類似した動きがで
ている。比較的短期の観
測ではあるが、なぜ地盤
沈下している所が現地形
で凸地形しているのか興
味ある問題である。これ
について議論するにはよ
り長期の観測といくつか
の研究が必要と思われる
が、この現象の起る理
由は地表面に谷ができる
原因と地下に谷ができる
原因とが必ずしも同じで
はなく、それ故に二つの
谷のできる位置も必ずし
も一致しないことにある
のではないかと考えてい
る。すなわち二つの谷の
水平位置が一致すれば谷
は急速に発達して Fig. 5
左右端の橋の谷、上岡谷
のような谷になり、一致
しない場合で地表面の谷
の縦侵食による下降が、
地下谷における地下侵食
とそれに基因する mass
movement としての土層

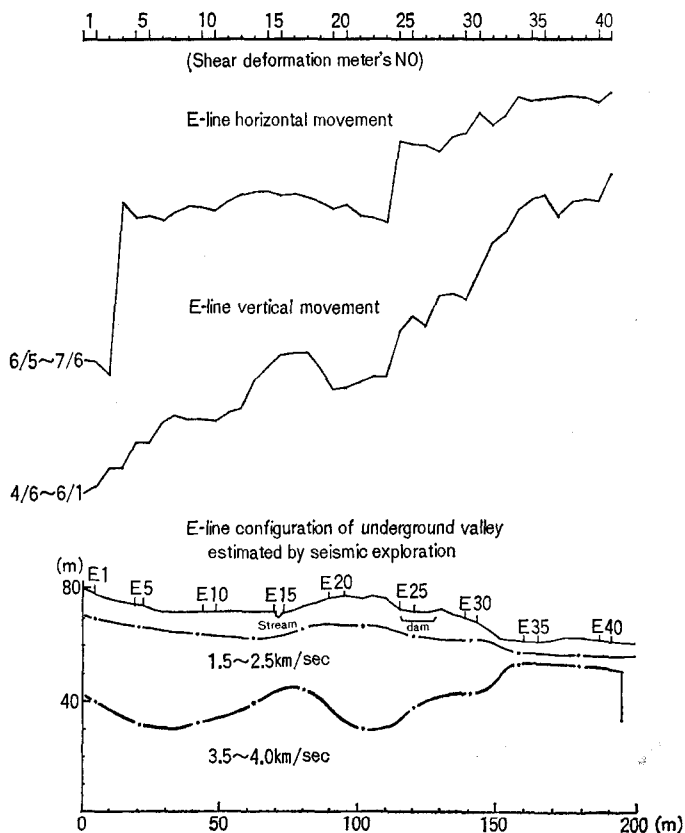
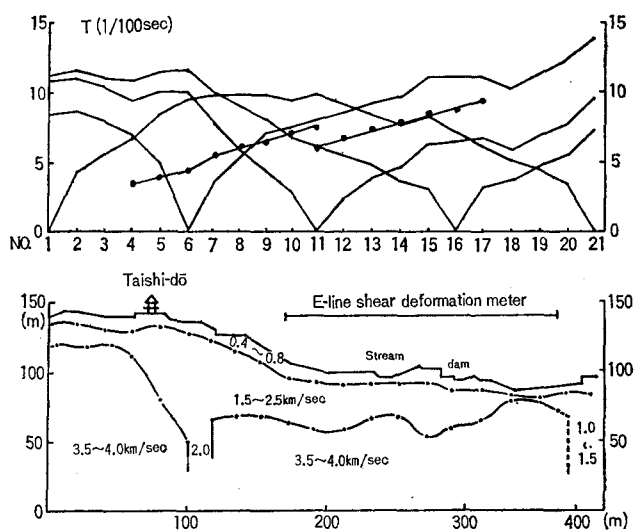


Fig. 10 Comparison between horizontal, vertical and underground valley



Detector NO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Depth of 2nd layer	6	9	9	9	9	7	9	10	10	9	8	8	9	7	10	9	7	4	6	5	12
Depth of 3rd layer	19	25	20	27	59	85	65	58	48	41	44	41	34	31	49	36	27	7	10	20	

Fig. 11 E-line travel-time curve and estimated geological section

の沈下を上回る時、上記のごとく地表面形状の凸凹と上下動の凸凹が逆転するのではないかと考えている。

次に上下動にも水平動にも見られる左下り、右下りの動きがどのような動きであるかは、各々左上り、右上りの部分が測線外にでてしまったことから確かなことがわからないが、徐々に下がって行くその形から考えて剛体運動とは思えない。すなわち同時に一体として地盤が左、または右へ傾くと言った傾斜運動や、左方ほど下へ移動したり、右方ほど下へ移動すると言った剛体的回転運動をしているとは想像しにくい。またビンガム的な動きは三波川の岩質とその動きの巾を考えればありそうに思えない。そこで現在可能性のあるものとして考えているのは Fig. 11 (Fig. 11 のレベル測量は弾性波探査の際に行ったもので、Fig. 10 のセン断変位計の杭の上を連らねたレベル測量結果とは、水平、垂直位置ともに数m異なる。) の100m と 400m の所にある大きな破碎帯 (Fig. 5 両端の破碎帯) においてまず地下侵食に起因する上下移動や水平移動が生じ、次にその横の土塊が側面支持力の一方を失うか、または逆にセン断力を受けて同様な上下移動や水平移動を生じ、これが順次続くと言うことを考えている。このような破碎帯を発生源として上下動、水平動がその両横へ伝播すると言う仮説の確認にはセン断変位計の自記記録と、破碎帯までの測定機の増設が必要である。

3) 平常時の地すべり運動の原因について

Fig. 6~8 でみると、Fig. 6 の4~5月の動きは別にしても台風や大雨のない平常時にもかなりの動きが見られ、水平動で一週間当たり、数 cm、上下動では10cm 近いものも見られる。(上下動の場合は一方が上昇して他方が沈下しているかもしれないので左右両端の差で考えている。) この原因として次の二つのことを考えている。

①絶えまなく続く地下侵食により連続的にまた時折不連続的に、地下谷、破碎帯を中心に土塊の沈下が生じることが考えられ、水平動はその土層沈下の動きに直接引きずられる形で生じるか、または沈下にとまなう沈下領域での底面、側面での破壊によりセン断抵抗力が減少して移動する。

②伸縮計の観測によれば地盤の温度変化による伸縮が認められ、その量は50m程度の間で mm 単位の動きも存在する。大阪工大の川本の考えているような尺取虫的な動き、すなわち斜面の土層は温度上昇にとまなう斜面下方へ伸び、温度低下にとまなう下方へ縮むと考えると、日変化また年変化によってかなりの動きが平常時に生ずることになる。

②については伸縮計の観測よりそれに類似した動きが実際に起っている可能性があると考え、現在さらに研究中であるが、セン断変位計に現れた平常時の動きの説明としてはあまり適切でないように思える。すなわち左下り、右下りの動きが交互に出てくることの説明や土層の上下動の説明はできないことはないにしてもかなり無理があり①との複合と言うことになるだろう。他に三紀層的なクリープ的動きの可能性は、粘土自体が少いこと、上下動の説明が不可能なこと、融雪期に動きが特に大きいと言うこともないことからまずあり得ないと考えられる。

地すべりがあまりに大きいことと当初の予想が正確でなかったため、E 測線セン断変位計の測線内に不動地が存在しなかったことや、観測が比較的短期であることから、まだまだ不十分な点もあるが、5節に述べたような従来知られていなかった新たな興味ある事実が得られたので、これらについてさらに研究を進めたいと考えている。

最後に調査、研究にあたってアドバイスをいただいた、京大砂防の小橋澄治氏、防災研究所古谷尊彦氏に感謝の意を表します。また調査の遂行にあたって御協力、御支援にいただいた建設省傾斜地保全課、徳島県砂防課、池田土木事務所の皆様に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 1) 徳島県土木部砂防課：善徳地すべりについて，(1971)
- 2) 武居有恒・佐々恭二・田淵 博：善徳地すべり地におけるセン断変位計調査の報告，徳島県(1973)
- 3) 武居有恒・佐々恭二・日浦啓全：善徳地すべり地における弾性波探査の調査報告，徳島県，(1973)
- 4) 武居有恒・佐々恭二・谷口義信：善徳地すべり地調査報告一Ⅱ，徳島県，(1974)
- 5) 武居有恒・佐々恭二・小橋澄治・仲野公章：善徳地すべり地調査報告一Ⅲ，徳島県，(1975)
- 6) 武居有恒・佐々恭二・古谷尊彦：善徳地すべり地における弾性波探査受振器使用地下水検層調査報告，徳島県，(1975)
- 7) Kawamoto, O.: A Study on Diurnal Variations of the Ground Strain Observed in Landslide 大阪工業大学紀要理工編，16，1，(1971)

Résumé

Landslides in the crushed zone showed such complicated movements that the actual state of the landslide movements has not been grasped up to this point. The authors of this paper have tried to analyze the state of the movements on a line crossing landslide by designing, producing and setting up shear-deformation meters which measure three factors concerning the relative movement between two points.

The following are the results which were obtained :

- (1) The reason that the state of the movements in the crushed zone-landslide are not easily understood from the configuration of the ground is mainly because the landslide movement has no constant pattern, but various types and scales.
- (2) The vertical movement is bigger than horizontal one, and both movements are greatly influenced by the shape of underground valley.
- (3) Considerable vertical and horizontal movement was observed during the period of no or little precipitation. The main cause is considered to be the unceasing underground erosion.
- (4) The interesting tendency was observed that the convexities of the ground subsided, while the concavities upheaved relatively.