

地すべり地における土地ひずみの観測 (Ⅱ)

高 田 理 夫

ON THE OBSERVATION OF GROUND-STRAIN AND GROUND-TILT AT A LANDSLIDE ZONE (II)

by *Dr. Sci. Michio TAKADA*

Synopsis

At Kamenose Landslide zone located in Tōge, Kashiwara City, Ōsaka Prefecture, the geophysical investigation to establish the perfect stabilization plan has begun at the end of 1962.

As the methods of the investigation the following observations are carried out.

- a) The sliding movement survey and the observation of tilting motion on the ground surface by the wire extensometers and tiltmeters with horizontal pendulum type,
- b) The observation of groundwater level by the groundwater level indicator,
- c) The observation subsurface deformation by the portable underground inclinometer.

Moreover seismic prospecting was carried out to study the crustal structure in this zone.

In this paper these methods and the results of the investigation and observation are discussed.

1. 序

大和川筋、亀の瀬一帯の地域は、〆峠の地すべり、〆亀の瀬の地すべり、などの名で呼ばれ、わが国の地すべりを語る時は、いつも代表格として引き合いに出される程、有名な地すべり地である。

この地すべり地域は、大和川が奈良盆地の流水を集め、大阪平野にぬける峡谷の右岸、奈良県と境を接する大阪府柏原市大字峠部落の一部で、付近一帯は堅上ぶどうで有名なぶどう畑や桃畑などの果樹園がひろがっている。その対岸には、関西線・国道25号線がはしり、何れも関西交通系統の幹線である。

また当地すべり地は、中央構造線の北側に位置し、地質は複雑で、基盤をなす圧砕花崗片麻岩の上に、第3紀の中新世末期におこった火山活動の際の噴出物である熔岩や火山灰から生成されたと思われる堆積岩が、複輝石安山岩・紫蘇輝石安山岩・礫層・ドズルボー層などの地層を形成し分布している。これらの地層群は普通二上層群と呼ばれている。その上、最上層部には、後に当地域一帯が浅海となり、堆積した粘土・砂礫からできたと考えられる、大阪平野周縁部に発達している大阪層群が分布している。

この地域の地すべりの歴史は古く、宿命的な地すべり地帯であって、明治以後の地すべりをみても、明治中期に大阪鉄道(現関西線)が、峠地域の大和川右岸に鉄道をふ設して、隧道を設けたが、地すべりが起こって入口の一部が崩壊した。そして、大正末期には新しい隧道に改められた。その後、昭和になり、6~7年に峠部落を中心に32ヘクタールが大地すべりを起こした。これが当時世間をさわがした〆亀の瀬の地すべり、である。この地すべりにより、大地には亀裂を生じ、家屋は崩壊、井戸や貯水池は滲漏し、大和川の河幅は縮まり、河床は隆起して上流では4mもの増水となったとのことである。また同地内にあった関西線の隧道は埋没して一時交通は杜絶し、線路を右岸より左岸に移転させねばならないという被害をもたらした。

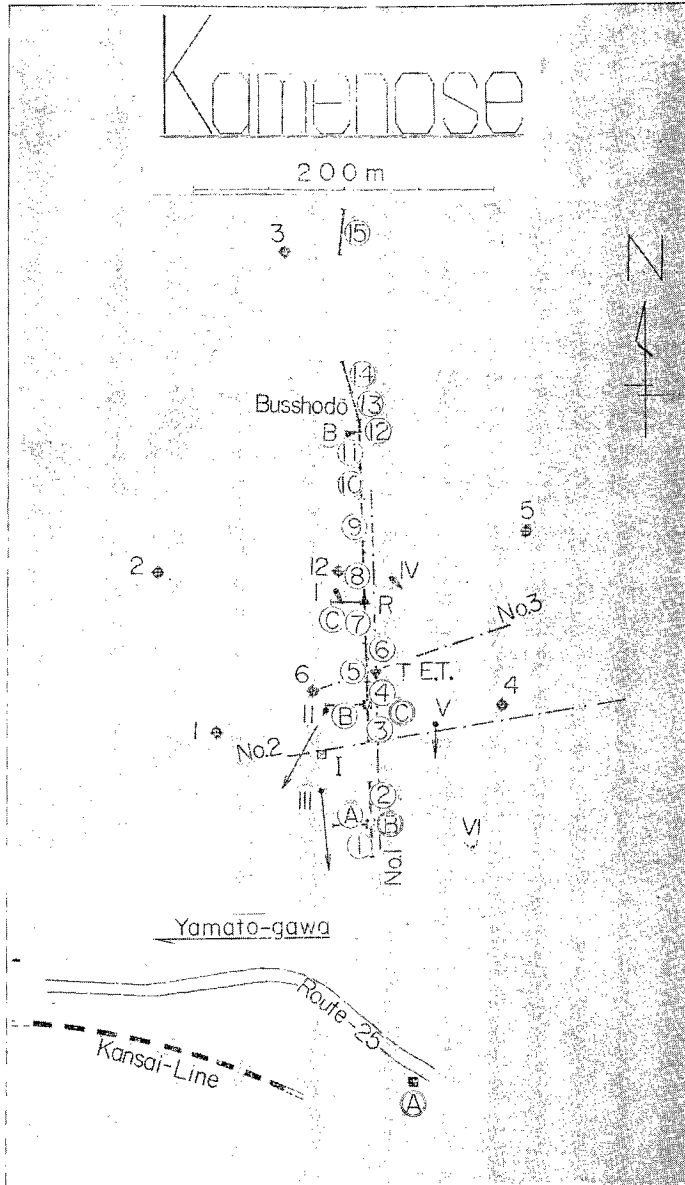


Fig. 1 Location of Kamenose Landslide zone and investigation of landslide movement on the ground surface
 ①, ②, ③, ④, ……⑫, ⑬, ⑭, ⑮, A, B, C: -Extensometer
 A, B, C: -Tiltmeter
 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12: Groundwater level indicator
 I, II, III, IV, V, VI, B: -Travelling post
 I: -Portable underground inclinometer
 R: -Recording rain gauge
 T: -Thermograph
 E.T.: -Recording earth thermometer
 - - - - - Survey lines for seismic prospecting

その後、地すべりは次第におさまったが、昭和26年、前の地すべり地域の西端にあたる、仏生堂—清水谷付近4ヘクタールの滑動が活発となり、〆峠の地すべりと呼ばれ注目されるようになった。筆者もこれの調査に出かけ、電気探査や地震探査を行なったが、清水谷に砂防堰堤をつくるなどの防止工事がなされ、これを阻止し得たが、ここ数年来、再び同地域内の滑動が目立ち、地元民の要望もあり、近畿地方建設局においては、根本的な防止策として、同地域内のすべり面上層の廃土計画をたてることになり、これに必要な諸調査がなされることとなった。

この調査の一部とし、筆者らは地球物理学的な諸調査を行なうこととなり、次の4つに大別し調査を進めてきた。

- a) 伸縮計・傾斜計による土地ひずみの観測
- b) 地下水位の観測
- c) 地中内部のひずみ観測
- d) 弾性波探査による地下構造の推定。

これに付随し、雨量・気温・地中温度などの気象の観測なども実施した。

これらの調査は今後も更に続けられるが、現在まで、資料も多く集積され、その概略を知り得たので、これらの調査結果について記すこととする。

2. 伸縮計により観測された土地ひずみ

地すべりにともない生じる地表面の伸縮の分布を知るため、**Fig. 1**に示すように、今回の調査区域のほぼ中央縦断・仏生堂を通り大和川に向う、ほぼ南北(正しくはS 1.5° E)の測線を選び、この測線上に12台の伸縮計を連続して設置し、移動量の大きいと思われる所には、この測線と直角に3台の伸縮計を設置し観

Table 1
Instrumental constants of extensometers

| Mark of extensometer | Span of observation | | Dip | Sensitivity ($\times 10^{-6}/\text{mm}$) |
|----------------------|---------------------|---------------------|-----|--|
| | Oblique distance | Horizontal distance | | |
| 1 | 24.5m | 24.5m | 4° | 2.04 |
| 2 | 25.8 | 25.5 | 6 | 1.93 |
| 3 | 27.8 | 25.0 | 25 | 1.79 |
| 4 | 22.0 | 21.5 | 13 | 2.27 |
| 5 | 10.0 | 10.0 | 1 | 10.00 |
| 6 | 15.8 | 13.5 | 30 | 6.32 |
| 7 | 29.0 | 28.5 | 10 | 1.72 |
| 8 | 30.0 | 30.0 | 2 | 3.34 |
| 9 | 29.8 | 29.5 | 10 | 1.67 |
| 10 | 24.8 | 22.5 | 24 | 4.02 |
| 11 | 18.0 | 15.5 | 30 | 5.56 |
| 12 | 13.4 | 4.5 | 70 | 7.46 |
| A | 30.0 | 29.9 | 5 | 1.67 |
| B | 26.2 | 25.2 | 16 | 1.90 |
| C | 14.8 | 14.7 | 6 | 3.37 |
| 13 | 19.5 | 19.5 | 3 | 2.56 |
| 14 | 19.5 | 19.4 | - 6 | 2.56 |
| 15 | 24.8 | 24.6 | 6 | 2.02 |

測を始めた。その後8月に、仏生堂の上方この測線の大体延長上に3台の伸縮計を設置し、現在では合計18台の伸縮計で観測を行っている。これに使用した伸縮計は、地すべり地用に設計されたスーパー・インヴァール線伸縮計と呼ばれるもので、ペン書きで自記録させることができる。

Table 1 に、これらの使用伸縮計の諸常数を示しておく。

これら伸縮計により観測された結果を図示すると **Fig. 2** のようである。これを見て、一番に気付くこと

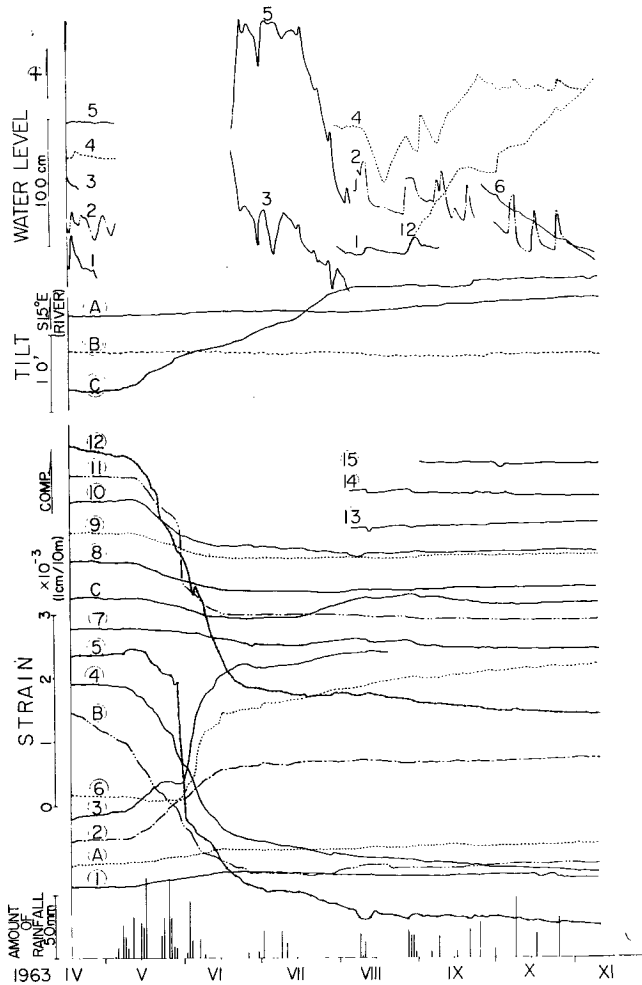


Fig. 2 Variations of the ground-strain, ground-tilt and groundwater level and amount of rainfall

は、何れの変化も5月中旬より6月末まで、大きく変化していることである。この大きい変化は、併示した降雨量と比較すればわかるように、今年は例年より1月早く雨期に入り、5月上旬から6月中旬まで雨が続き、雨量は約500mmに達しており、変化はこれより約10日遅れて始まっている。従って、この大きい変化は雨により生じたものと見てよからう。この変化の中には、経年変化や年変化が含まれている筈であるが、いま、大きい変化の始まる5月16日よりこの変化の終る6月26日までの変化を、この雨により生じた変化と考えるならば、現在までの変化量の大部分は、この期間に生じた変化に左右されることがわかる。**Table 2**

Table 2

Ground-strains observed by extensometers and amounts of contraction and horizontal displacement calculated from those variations

| Mark of extensometer | a Strain ($\times 10^{-3}$) | | | b Amount of contraction (mm) | | | c Amount of horizontal contraction (mm) | | | d Horizontal displacement (from Bussihodo) (mm) | | |
|----------------------|----------------------------------|-------|---------|---------------------------------|-------|---------|--|-------|---------|--|--------|---------|
| | IV-XI | V-VI | IV-VIII | IV-XI | V-VI | IV-VIII | IV-XI | V-VI | IV-VIII | IV-XI | V-VI | IV-VIII |
| 1 | 0.16 | 0.19 | 0.20 | 3.9 | 4.7 | 4.9 | 3.9 | 4.7 | 4.9 | -40.6 | -34.2 | -31.8 |
| 2 | 1.30 | 1.22 | 1.24 | 33.5 | 31.5 | 32.0 | 33.3 | 31.3 | 31.8 | -44.5 | -38.9 | -36.7 |
| (2') | 1.45 | 1.65 | 1.88 | 39.3 | 44.8 | 51.0 | 34.0 | 38.7 | 44.1 | -77.8 | -70.2 | -78.5 |
| 3 | (2.60) | 2.08 | 2.52 | 72.2 | 57.8 | 70.0 | 65.4 | 52.4 | 63.4 | -111.8 | -108.9 | -122.6 |
| 4 | -2.64 | -2.21 | -2.95 | -58.1 | -48.7 | -64.9 | -56.6 | -47.4 | -63.2 | -177.2 | -161.3 | -186.0 |
| 5 | -4.25 | -3.67 | -3.90 | -42.5 | -36.7 | -39.0 | -42.5 | -36.7 | -39.0 | -120.6 | -113.9 | -122.8 |
| 6 | 2.05 | 1.38 | 1.44 | 32.4 | 21.8 | 22.8 | 28.1 | 18.9 | 19.7 | -78.1 | -77.2 | -83.8 |
| 7 | -0.34 | -0.25 | -0.21 | -9.9 | -7.2 | -6.1 | -9.8 | -7.1 | -6.0 | -106.2 | -96.1 | -103.5 |
| 8 | -0.43 | -0.42 | -0.52 | -12.9 | -12.5 | -15.6 | -12.9 | -12.5 | -15.6 | -96.5 | -89.0 | -97.5 |
| 9 | -0.37 | -0.38 | -0.42 | -11.0 | -11.3 | -12.5 | -10.8 | -11.1 | -12.3 | -83.6 | -76.5 | -81.9 |
| 10 | -0.76 | -0.74 | -0.81 | -18.9 | -18.4 | -20.1 | -17.3 | -16.8 | -18.4 | -72.8 | -65.4 | -69.6 |
| 11 | -2.31 | -2.11 | -2.12 | -41.6 | -38.0 | -38.2 | -36.0 | -32.8 | -33.1 | -55.5 | -48.6 | -51.2 |
| 12 | -4.26 | -3.43 | -3.94 | -57.1 | -46.0 | -52.8 | -19.5 | -15.7 | -18.1 | -19.5 | -15.7 | -18.1 |
| A | 0.34 | 0.19 | 0.25 | 10.2 | 5.7 | 7.5 | 10.2 | 5.7 | 7.5 | | | |
| B | -2.38 | -1.57 | -2.49 | -62.4 | -41.2 | -65.3 | -59.9 | -39.6 | -62.7 | | | |
| C | -0.10 | -0.33 | -0.13 | -1.5 | -4.9 | -1.9 | -1.5 | -4.9 | -1.9 | | | |
| 13 | 0.07 | | | 1.4 | | | 1.4 | | | | | |
| 14 | -0.10 | | | -2.0 | | | -2.0 | | | | | |
| 15 | -0.01 | | | -0.2 | | | -0.2 | | | | | |

IV-XI : — Variation from Apr. to Nov.
 V-VI : — Variation from 16th May to 26th June
 IV-VIII : — Variation from Apr. to 31st July
 ⊕ : — Contraction, ⊖ : — Expansion

に各伸縮計により観測された区間の伸縮ひずみ a, 各区間の伸縮量 b, 伸縮量の水平成分 c および仏生堂の上にある伸縮計の最上端固定点を基準にした場合, 各伸縮計の下端固定点の水平移動量 d を, 観測開始の4月18日から11月11日まで (Ⅳ—Ⅺ), 5月16日から6月26日まで (Ⅴ—Ⅵ), 4月18日から7月31日まで (Ⅳ—Ⅷ) の3期間に分けて示した。なお Table 中の 2' は②, ③—伸縮計の間には伸縮計がないため, 両者の平均をとってこの区間の変化量とした。

ひずみ分布がよくわかるよう, **Fig. 3** に伸縮計設置測線断面と各伸縮計による観測区間のひずみ変化量

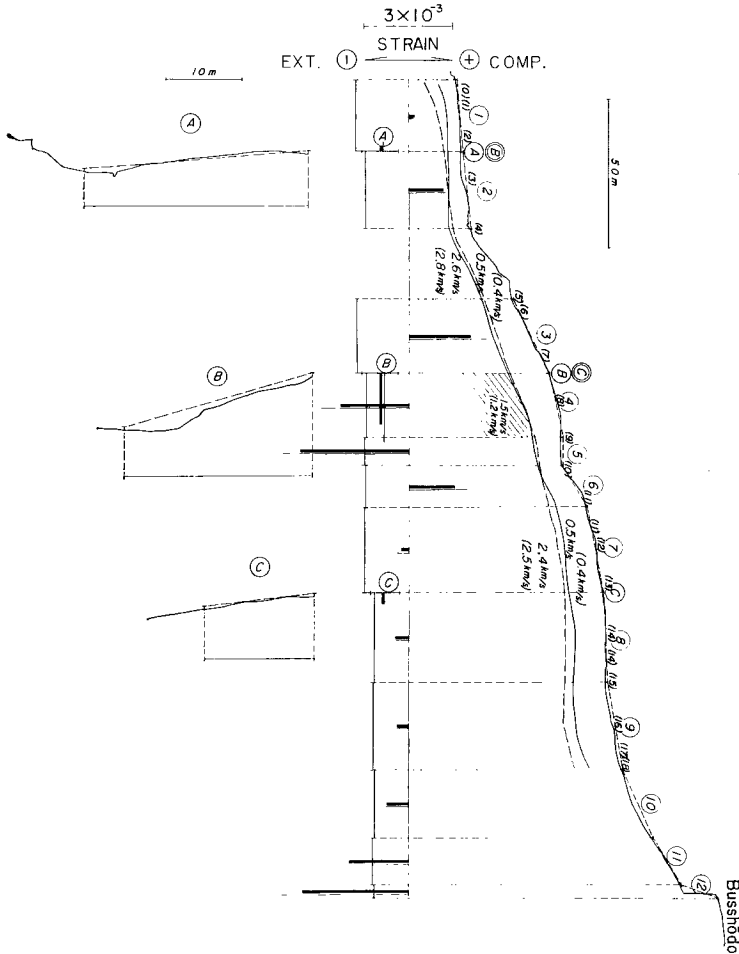


Fig. 3 Geological section along the survey line for investigation of ground-strains, disposition of the instruments and variations of the ground-strains

- ①, ②, ③...⑩, ⑪, ⑫, A, B, C:—Extensometer
- A, B, C:—Tiltmeter
- (1), (2).....(17), (18):—Disposition of the geophones
- :—Variation of the ground-strains from 16th May to 26th June
- :—Variations of the ground-strains from Apr. to Nov.
- - -:—Results of the seismic prospecting on Mar. 1963
- :—Results of the seismic prospecting on Jul. 1963
- (()):Propagation velocity of P-wave

を、4月18日から11月11日まで(—)と5月16日から6月26日まで(—)の期間に分けて図示した。図中⊕側への変化は縮み、⊖側への変化は伸びを表わしている。なお、この測線より10m東に、これと平行に測線をとり実施した地震探査の結果得られた地下構造図を比較のため付記した。これについては後に述べるが、探査は3月(乾燥期)と7月(湿潤期)の2回実施しており、両者の結果には若干の喰い違いが認められる。従って3月の探査で得たものを—で、7月に得たものを—で示した。また7月の探査で得た各地層のP-波速度を()を付けて示しておいた。

これらの変化図を見れば、伸縮の分布がよくわかる。すなわち、仏生堂の⊕—伸縮計から⑦—伸縮計までの各区間では伸びを示し、その変化量は下方に行くにつれて順次小さくなり、⑥—伸縮計では逆転し、変化は縮みになっている。その下④、④—伸縮計は再び伸びを示し、それ以下の伸縮計は縮みを記録しており、その変化量は下方小さくなっている。

3. 傾斜計により観測された土地傾動

前述の伸縮計設置測線上に3台の傾斜計を設置し(Fig. 1,3 参照)、測線方向(S1.5°E)の地表面の傾斜変化を観測している。これに用いた傾斜計は地すべり用に設計されたもので、ツェルナー吊りの水平振子を用いており、記録は光学的な写真記録方式を採用している。感度は水平振子の固有周期を変えることにより適宜変化せしめられるが、今回は周期を10秒にしたため、感度は1.1"/mmとなっている。

これらの計器により観測された結果を Fig. 2 に示しておいたが、これを見ると、対岸国道横の④は変化は小さいが、仏生堂と反対の方向に傾斜し、山裾はほとんど変化していない。他の1つ、中腹にある⑤は大和川の方に大きく傾斜しており、伸縮計の変化と同様、雨による影響が著しく現われている。

4. 地下水位の観測

地すべりと地下水との関係は密接であり、これに関しては多くの報告があるが、当地すべり地における両者の関係をしらべるべく、1、……、5の5観測孔(75mmφ)を掘りビニール・パイプを挿入し、地下水位の観測を行なった。(Fig. 1 参照)特に2、3、5の観測孔は地下水の流動方向をも推察できるよう、ほぼ正三角になるよう考慮した。これに用いた水位計は、浮きの昇降を滑車の回転に換え、ヘン書きで自記録させるようにしたものである。これらの観測孔のうち3・5は深く水面まで12~13m位、他は3~4m位ある。最初の設置当時は、何れの計器も順調に動作していたが、5月初旬からの降雨後深い3・5の水位計はロープが孔壁に触れ記録をとることができなくなった。これは降雨による地すべりで、地中のひずみが大きくなり、孔が曲ったために起こったものと想像される。また他の3つの水位計は、降雨による水位の変動が大きく、この計器の倍率では連続記録をとることができなかった。従って、3・5の観測孔については1日1回の定時観測を行なったが、一番重要な雨期における水位観測が完全にできなかったことは真に残念である。また7月半ばよりは3・5の水位計を6・12の堅坑に移し観測を始めた。これらの観測結果を参考のため Fig. 2 に示しておいた。

5. 地すべり面計(地中傾斜計)による地中ひずみの観測

Fig. 1 に示した、地震探査測線 No. 2 の西の部分・道路横 I に掘られたボーリング孔を利用し、これの変形より地中ひずみの分布を調べ、地すべり面の深さを求めようと試みた。

まず、ボーリング孔の崩壊を防ぐと同時に、地中のひずみに伴い変形しやすいボーリング孔には軟質ビニール・パイプを埋設した。またパイプの変形(曲り)を地上より測定できるように、Fig. 4 に示すような簡単な地中傾斜計を試作した。これは、錘りを直角方向に交叉した上下2枚の板バネで吊り、振子とし、板バネの両面には strain gauge を貼り付け、これを防水容器に収めたものである。いま、これをパイプに沿わせ降下させるならば、もし計器がパイプの変形箇所にくると、振子は傾き、板バネは曲る。従って、板バネに貼った strain gauge は曲り、一面では伸び、他面では縮む。このために生じる抵抗線の抵抗変化を地

上で測定すればよいわけで、予めこの計器の傾斜と strain gauge のひずみ変化量（抵抗線の抵抗変化量）との関係を求めておけば、各深さにおけるひずみを測定することにより、パイプの傾き、つまりパイプの曲りを求めることができる。ここに、この計器の感度（傾斜とひずみ変化との関係）をしらべた結果を図示す

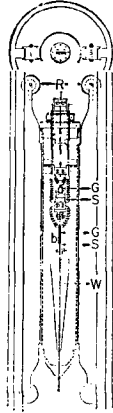


Fig. 4 Illustration of the portable underground inclinometer

- a: —a-component
- b: —b-component
- G: —Strain gauge
- S: —Plate-spring
- W: —Weight
- R: —Guide roller

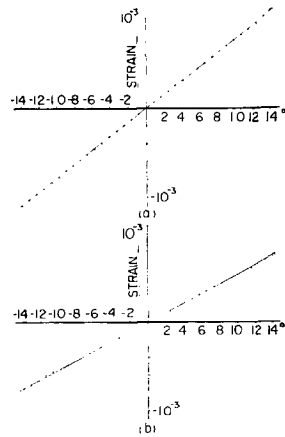


Fig. 5 Sensitivity of the portable underground inclinometer (Relation between the angle α of inclination and strain)

ると **Fig. 5** のようになる。(a)は a-成分、上部バネのものであり、(b)は b-成分、下部バネのものであって、(a)とは直角方向を向くものである。これらの実験の際、直角成分（作用しない成分）のひずみも同時に測定したが、これは、ほとんど変化しなかった。また、それぞれの45°の方向に傾斜させたが、vector的に両者より求めたものとよく一致した。このようにして直角2成分のひずみ変化よりパイプの曲りと方向とを知ることができ、地中内部の移動方向がよくわかるわけであるが、そのためには、計器は常に一定方向を向き、またパイプ内壁に常に同じ状態で接触しておらねばならない。これらを満すため、ビニール・パイプには直径上にくるよう、内壁に2本のガイド・レールを取り付け、計器には上端と下端に板バネで2つづつ、

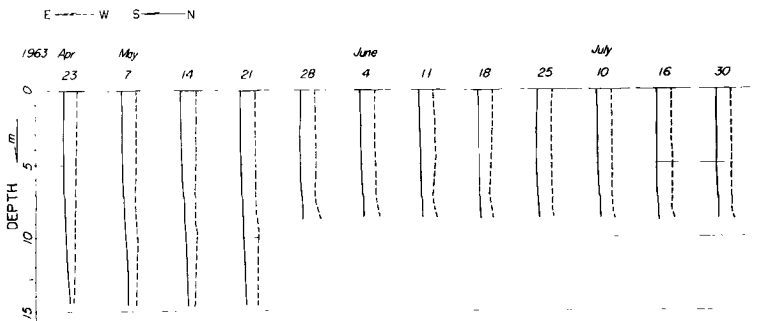


Fig. 6 Variations of the subsurface strains (Presumed from the deformation of the vinyl chloride pipe)

計4つのローラーを取り付けた。このようにして、ガイド・レールに沿って、ローラーが滑り落ちるようにすれば、前述の2条件を満たすことができる。

この観測孔は径10cmで、深さを15mにし、その中に内径7.5cmのビニール・パイプを埋め、観測を開始した。なお観測は週1回実施した。この観測結果を示すと **Fig. 6** のようになる。これを見ると最初の間は深さ15mまで計器を降下させることができたが、5月の初旬の降雨期より、深さ10m位の所に変形が認められるようになり、この変形は日を追って大きくなり、少しづつ上の方に移ってきた。そして、雨期の半ばをすぎた5月28日には8.5mより下には計器を入れることができなくなった。今では少し浅くなり8.1mぐらいまで降下せしめることができる。これは、パイプの変形が大きく計器を通すことができなくなったためであり、変形の状態から考えると、8.5m ぐらいの所を境にして上の層が東南東にすべったことになる。

6. 地震探査により求められた地下構造

当地すべり地の地下構造がどのようなものであるかを調べるため、**Fig. 1** に示した3測線を選び地震探査を実施した。探査は乾燥期と湿潤期で地下構造に差が生じるかをも調べるため、乾燥期として3月中旬、湿潤期として7月上旬、同一測線で同一振子配置で実施した。なお No. 1 測線は伸縮計設置測線付近の構造を調べる目的で、これより10m東に、これと平行になるよう、No. 2 測線は地すべり面測定孔および4一水位観測孔を通るよう、また No. 3 測線は6一水位観測井(直径3m・深さ30mの堅坑)を通るよう考慮した。

これらの探査の結果、えられた地下構造を示すと **Fig. 7** のようになる。これを見ると当地域では表層

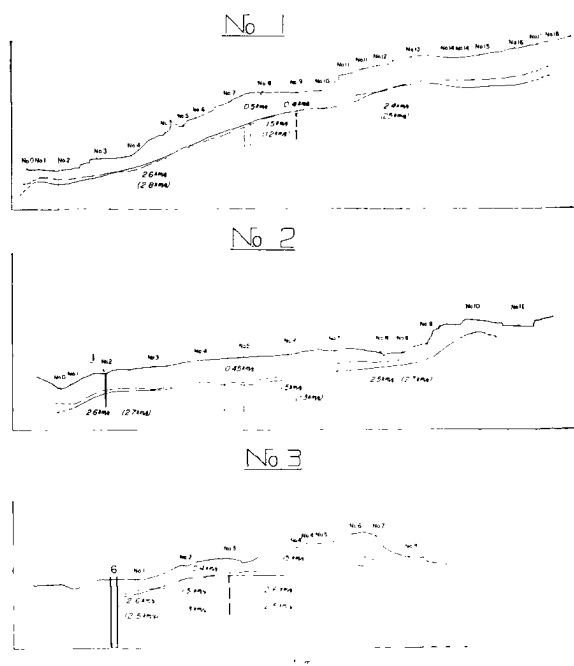


Fig. 7 Geological sections obtained the seismic prospectings
 —:—Results of the seismic prospecting on Mar.1963
 - - -Results of the seismic prospecting on Jul. 1963
 [():Propagation velocity of P-wave]

約10mの深さまでは、P-波速度0.4~0.5 km/s の層で、その下に2.4~2.7 km/s の層があり、その中に一部1.2~1.5 km/s の低速度層が夾まれている。この層は堅坑の上から4一水位観測孔の西へ、円弧状につづいているようである。付近のボーリングの調査などから考えると、10m位までの0.4~0.5km/s の層は礫混り粘土層、その下の層は破碎岩層と思われる。図中——で示した境界面は3月・乾燥期の探査で得られたものであり、---で示したものは7月・湿潤期のもの、また（ ）を付したP-波速度は7月のものである。これらから、第1層と第2層の境界は大体において湿潤期の方が浅く、P-波速度は表面第1層では乾燥期の方が幾分速く、第2層では逆に湿潤期の方が速くなっているが、この中に夾まれている低速度層は逆に、第1層と同様、乾燥期の方が速くなっている。

7. 調査結果の吟味

以上の諸調査の結果を総合して考えると、地表上のひずみ変化より、本調査地域の地すべりは雨期に著しく、大体10日ぐらい遅れて変化が始まる。また地すべりは大体二つのすべりよりなっている。一つは、仏生堂より、⑥一伸縮計付近まで、他の一つは、それから下の部分である。

仏生堂断崖付近⑥一伸縮計より⑥一伸縮計までのひずみ変化を見ると、ひずみは伸びで下方に行くに従い順次減少し、⑥一伸縮計にいたり逆に縮んでいる。これは、Table 2 でも見られるように全体として、下方にすべり落ちながら、ある区間を見れば、下の方の部分が上の方の部分より多くすべっており、しかも同一区間長で比較する場合、両端の移動量の差は下へ行くに従い小さくなり、⑥一伸縮計付近では、上端の移動量が下端移動量を越したことを示している。すなわち、全体としてすべってはいるが、⑥一伸縮計の下方付近に、これを止めるような働きのあることを意味している。

これから下は、⑥、④一伸縮計付近で大きくすべり、①、②一伸縮計およびそれより下の部分でこのすべりを支えているものと思われる。

なお、これらのひずみ観測より求めた地表面の移動量は、地表面の実際の移動量とよく一致している。Fig. 1 に示したが、この測線の付近にはⅠ・Ⅱ……Ⅴ・Ⅵ、Bの移動観測杭があり、ここ数年来、建設省近畿地方建設局大和工事事務所では、年数回移動測量を実施しているが、最近では、2月22日と7月30日に測量を実施している。この期間中の各移動杭の水平移動量は

Ⅰ:—S18°.00'E へ 9cm, Ⅳ:—S30°.00'E へ 10cm
 Ⅱ:—S29°.30'W へ 59cm, Ⅴ:—S0°.20'W へ 22cm
 Ⅲ:—S5°.00'E へ 53cm, Ⅵ:—S15°.00'E へ 3cm
 B:—N80°.30'E へ 31cm, (昭和35年10月20日~昭和38年7月30日)

である。従って、これより、伸縮計設置測線方向の移動量を求めると、

Ⅰ:—3.5cm Ⅳ:—7.3cm; Ⅱ:—59.8cm, Ⅴ:—22.0cm Ⅲ:—51.2cm, Ⅵ:—2.9cm; B:—4.3cm

となり、Bを除き何れも下方へすべったことになる。このうちⅡ・Ⅲは常に移動量が大きく特殊な区域として注目されているから、これらの点を除外し、他の5移動杭の測量結果とこれに一番近い伸縮計より求めた移動量を比較して見る。いま仏生堂Bを基準にし、各杭の移動量を求めるとTable 2 (d) の移動量と比較できるわけであるが、Bについては昭和35年10月より昭和38年7月30日までの移動量であるからこの1/6の0.7 cm 移動したと仮定すれば、

Ⅰ:—9.2cm, Ⅳ:—8.0cm Ⅴ:—22.7cm; Ⅵ:—3.6cm

下方へ移動したこととなる。これらに一番近い伸縮計を探すとⅠ・Ⅳは⑧一伸縮計、Ⅴは④一伸縮計、Ⅵは①一伸縮計に近い。これら伸縮計の昭和38年4月18日観測開始から、7月31日までの、仏生堂を基準にした移動量は

⑧:—9.75 cm, ④:—18.60 cm, ①:—3.18 cm

となっており、両者より別々に求めた移動量は一致していると考えてよからう。

しからば、どの層がすべっているかと考えて見ると、地すべり面計の観測よりわかるように、観測孔付近

では約8mの深さまでの層がすべっているわけで、Fig. 7に示した地震探査の結果を見れば、観測孔における第1層と第2層の境界面深さは、乾燥期で8.5m、湿潤期で7.3mとなっており、第1層がすべっていると見てよからう。一方、曲りの方向はわからないが、地すべり面計を地下水位観測孔に挿入し孔の曲りを調べた所、1では7.6m、2で5.4m、3で14.5m、4で3.4m、5で14.0m付近で一番曲りが大きかった。これらと近くを通る地震探査測線の地下構造なども考え合わせると第1層の0.4~0.5 km/sの層がすべっていると見てよい。

このような観点より Fig. 3を見れば、二つの地すべりは急斜面(⑥—伸縮計付近と⑧—伸縮計から④—伸縮計に至る付近)においてこれをくい止めており、それらの少し下の部分は地表面も第1層と第2層の境界面も平坦になっている。これらの傾斜角度は地すべり防止の重要な要素となっているものと思われる。また地表面の急斜面は不安定な部分がすべった後、安定勾配を保ち残っているものと思われるから、これらについて更に研究する必要があると考えられる。

なお、④、⑥—伸縮計が大きく伸びているが、その下に低速度層があり、地すべりとある種の関連があると思われるので、これについても検討を加える必要がある。

傾斜計の観測結果を見れば、④はわずかではあるが、仏生堂とは反対側に傾斜し、⑧はほとんど変化せず、⑥は川の方へ大きく傾斜していることがわかるが、これは多分⑥付近より川床にかけて隆起しているものと考えられる。このような傾斜変化は地表面のみならず、さらに深い部分にも幾らかの地すべりがあることを暗示しているものと思う。

地下水位の観測については十分な資料を得ることができなかったが、観測孔掘さくの際認められた湧水箇所深さは、1が5.0m、2が3.5m、3が12m、4が2.5m、5が11mであり、前述の孔の変形深さより浅い所で湧水している。これは、すべり面、すなわち第1層と第2層の境界面の上に地下水層のあることを示すものであり、これも地すべりに大いに関係があるものと思われる。なお全般的に見て、地震探査の結果、湿潤期の方が第1層と第2層の境界面が浅くなっているが、この地下水面が雨期に上昇したため生じたものと思う。

8. 結 語

以上の諸調査で一応判明したことは、深い所にも地すべりは生じていると思われるが、主たる地すべり面地表面第1層で、その深さは大体10~15m位であり、大きく別けて、上方部と下方部の2つのすべりとなっている。そしてこのすべり面の上には地下水層が存在し、すべりに多分に影響しているものと思われる。なお、第2層以下の地下構造、第2層中に夾在する低速度層の性質、地すべりを支えていると思われる地表面の傾斜角、すべり面の起伏などについて今後さらに研究するとともに地下水についても研究を進める必要がある。

最後に、本調査の機会を与えられ、種々御援助いただいた、近畿地方建設局の方々、大和工事々務所の河野前所長・工務課長殿に御礼申し上げるとともに、諸計器の設置、観測など御協力いただいた田岡係長・楨谷・三浦・南の各技官に謝意を表します。

また、本調査に関し、御指導・御教示を賜った京大名誉教授佐々憲三博士に厚く御礼申し上げるとともに御助言をいただいた京大教授吉川宗治・山口真一両博士に謝意を表します。なお本調査、特に地震探査は、渡辺晃・古沢保・小林年夫・後藤実・公手忠・吉良昭男の諸氏の協力によりなされたものであり、記録整理を手伝っていただいた公手忠・古沢保の両氏に、伸縮計・傾斜計・地すべり面計の観測を手伝っていただいた小林年夫氏に御礼を申し上げます。また、終始記録の整理や計算の労をとられた石川美和子氏に深謝いたします。

これら諸調査に際し、現地で何かと御協力をいただいた奥村組の方々、特に松井氏に御礼を申し述べます。

参 考 文 献

- 1) 高田理夫：地すべり地における土地ひずみの観測(序報)、京大防災研究所年報、第6号、昭38。
- 2) 近畿地方建設局編：大和川筋亀ノ瀬地ニ調査報告論文集。
- 3) 近畿地方建設局大和工事事務所：亀ノ瀬地すべりに関する諸調査資料。