

神影地すべり地の特性

山口真一, 高田雄次, 竹内篤雄, 那倉明通

SOME CHARACTERISTICS OF THE MIKAGE LAND-SLIDE AREA

by *Shinichi* YAMAGUCHI, *Yuji* TAKADA, *Atsuo* TAKEUCHI,
Akimichi NAGURA,

Synopsis

The observation of the internal strain and of the ground displacement, and the groundwater survey including electric survey, tracer method etc. were carried out.

We got the information on some characteristics of the Mikage Land-Slide Area as follows.

- 1) The movment of mass was induced by the appearance of the depression area.
- 2) Groundwater is gathered from the surrounding area, flowing into the land-slide area.
- 3) Two slide surfaces were found. The 30m-layer is suffering the weathering action by the groundwater containing H_2S . And gradually a slide surface is being formed.
- 4) The shallower layer is influenced with the infiltration accompanied with rainfall.

序

神影地すべり地は兵庫県神戸市兵庫区大字神影の一角に存在する。昭和38年6月に当地の水田内に巾5m, 深さ1m, 長さ20mのほぼ北東—南西方向にのびる陥没（それは同時に北西—南東方向の陥没を伴った。）が生じた後にすべり出した。現在迄に種々の調査が行なわれ、当地すべり地の移動が、地下水および降水の地中への浸透と関係があることが明らかになった。

地すべり地の概況

当地すべり地は神戸市内とはいえ市中心部より15km離れた農村地帯にあり付近の土地利用形態は主に水田、苗木床および畑である。年間降雨量は約800mmで少なく、灌漑のためのため池が地すべり地をとりまくようにして存在する。地すべり地域の規模は長さ150m, 巾60m, 面積約90aの比較的小さなものである。地すべり誘発の直接の原因となつた陥没は地すべり地内に2ヶ所ある。ボーリング孔Bv. 3付近の傾斜はやや急であるが道路Aより下部の勾配はゆるく平均3~5°程度である。(Fig. 1, Fig. 2, Fig. 4)

調査結果

当地すべり地の陥没の発生原因と移動機構を明らかにし、対策工事のための資料を得るため、ボーリングによる調査、電気探査、自然放射能探査、地下水追跡調査、地温分布調査が行なわれた。またボーリング孔を利用した地中内部歪計によるすべり面の観測、雨量の観測、地下水位の観測が実施された。

1. ボーリングの結果

結果を(Fig. 3)に示す。

0m から 4.2m 迄の間は厚さ1.4m 以内のうすい層が堆積しており、4.2m以下は35m 迄砂岩と頁岩の

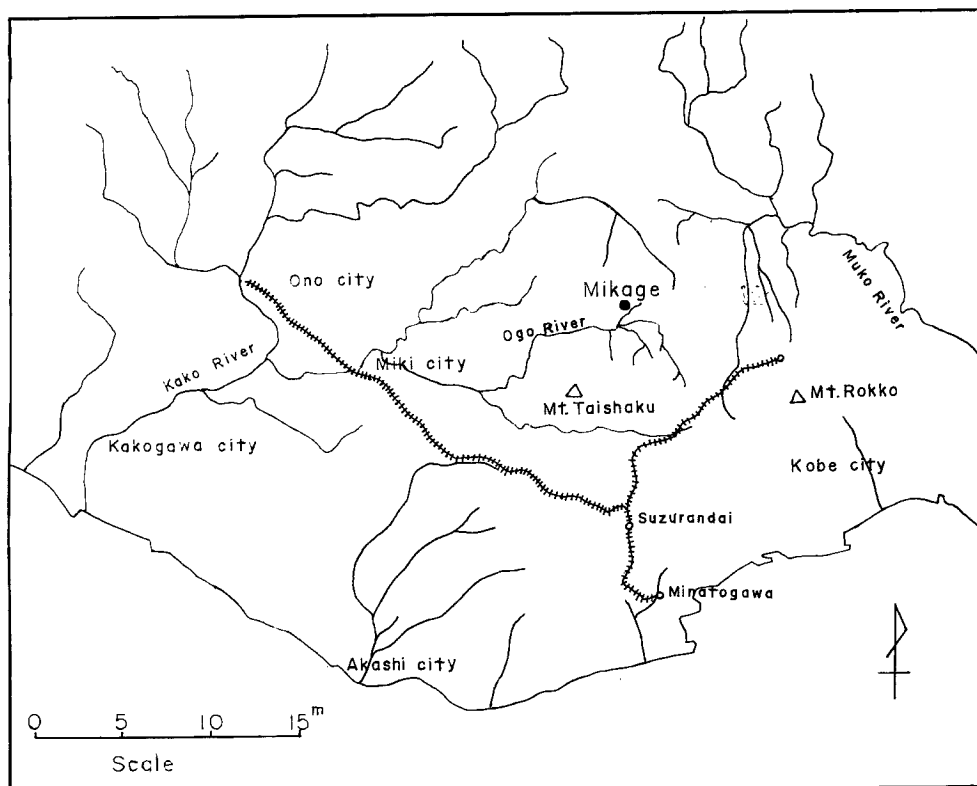


Fig. 1 Location of the Mikage Landslide Area

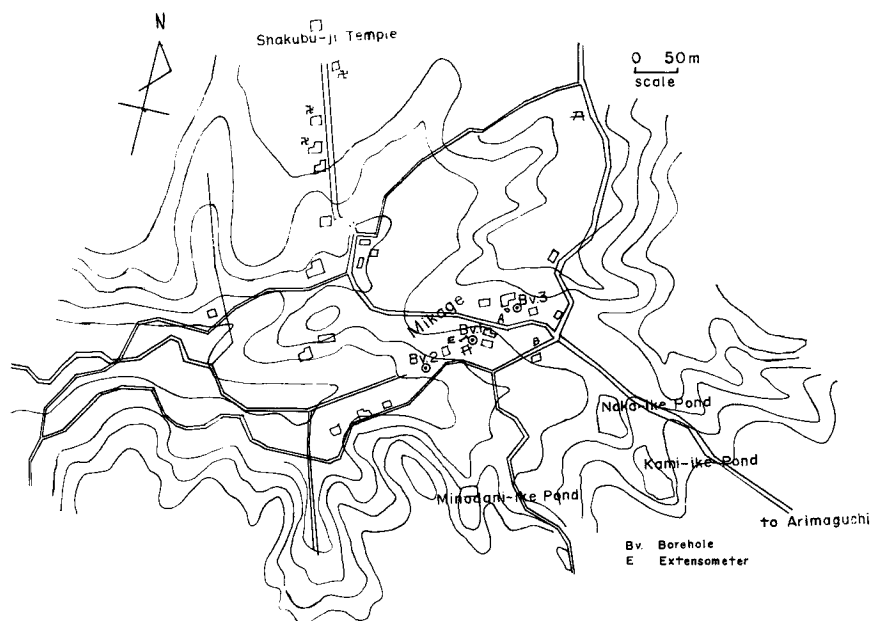


Fig. 2 The Mikage Landslide Area

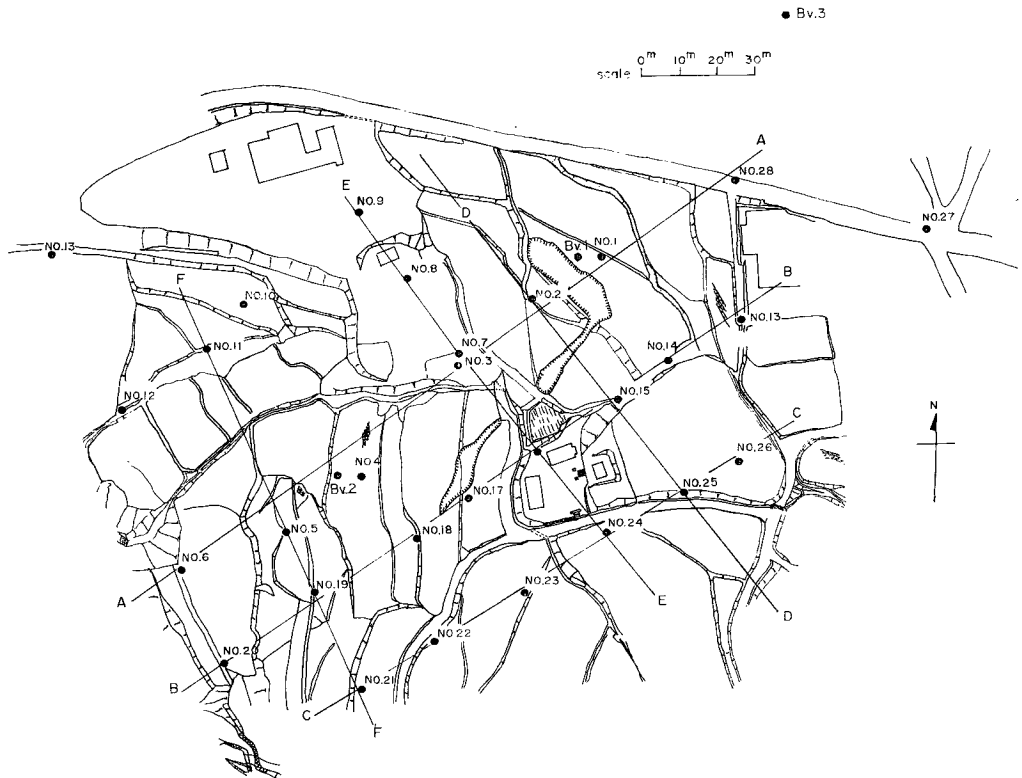


Fig. 4 Location of the measuring points of electric survey

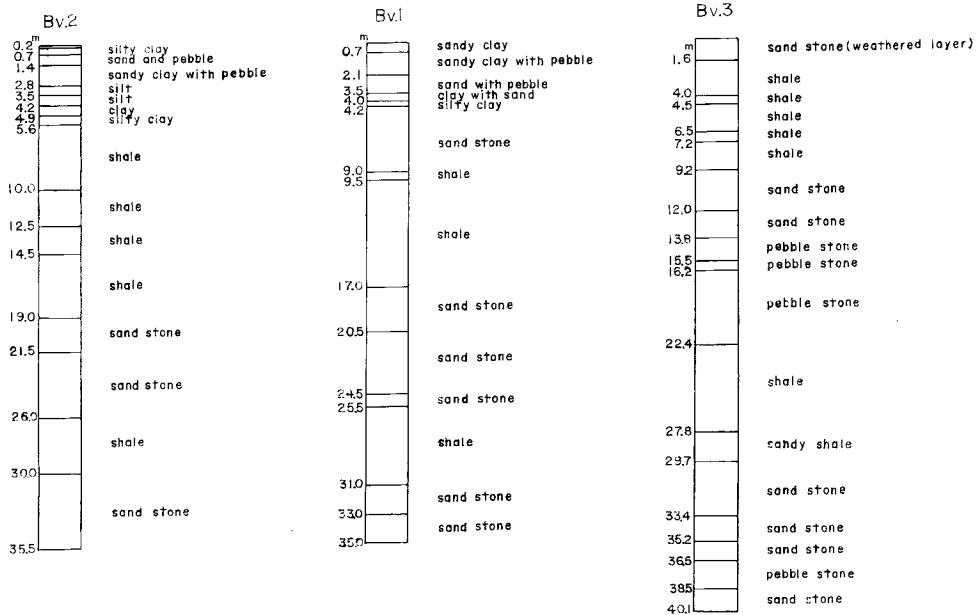


Fig. 3 Geological section of the points Bv.1, Bv.2 and Bv.3

互層となっている。4.2mから9.0m迄の砂岩は亀裂が多く、水でこするとくずれる。31.0mから33.0mの砂岩は灰白色で5~10cm毎に水平亀裂層がある。この層はボーリング工事中地表から送った水がすべて吸収されてしまった層であり、掘進も困難であつた。またこの砂岩は水により崩れるもろい性質をもっている。33.0m以下の砂岩は31.0mから33.0mの砂岩よりは固結している。25.5mから31.0m層の頁岩は軟らかく、水でこすると粘土化する性質をもっている。17.0mから25.5mの砂岩は礫を含む部分もあり縦方向にわれやすい。

B_v. 2

0mから5.6mの間は数10cmから1.4mの厚さをもつ表土層が堆積している。5.6m以深はB_v. 1と同様頁岩と砂岩の互層である。5.6mから14.5m迄の頁岩は非常に硬い。砂岩の層はきめの細かい砂よりなる層と、礫を含む層とがある。B_v. 1の30m付近にみられる弱い頁岩層、砂岩層に相当する部分は26.0mから35.5mであるが、B_v. 2の位置では風化された徴候、あるいは大きな透水性はみられない。

B_v. 3

この地点はB_v. 1の位置より約12m高いところにあり、当初は地すべりとは関係がないと考えられていた。0mから1.6mは砂岩の風化帯となっており、それ以下は砂岩(あるいは礫岩)、頁岩の互層となっている。16.2mから22.4mの礫岩は部分的に風化しているところがあり、掘進中砂礫化してコア採取不能のところがあつた。22.4mから27.8mの頁岩層は粘性土を挟在しているが亀れつは少ない。

2. 電気探査の結果

ボーリング完成後、38年12月当地の概略の地下垂直構造を知るため電気探査を行なつた。図4に示すとおり測線、測点を選んだ。

水 平 探 査

電極間隔を一定にした場合の見掛け比抵抗値の分布をFig. 5に示す。電極間隔 a が5m, 10m, 20mの場合をあげてある。 $a=10$ mのときは $a=5$ mの場合にくらべ見掛け比抵抗値の低い部分は東側にうつり2つの陥没領域の西側に隣接している。その中心部では見掛け比抵抗値は $0.5\text{k}\Omega\text{-cm}$ 以下である。 $a=20$ mのときは見掛け比抵抗値の低い部分はさらに東側に移動する。見掛け比抵抗値が $0.1\text{k}\Omega\text{-cm}$ よりも小さい部分はかき形の陥没の上端部をかすめてさらに北側に分布している。

垂 直 探 査

解析結果をFig. 6, Fig. 7に示す。これによるといずれの測線上においても3つの層より成り立つていることがわかる。第1層は表土を含めた $5\sim 1\text{k}\Omega\text{-cm}$ の比抵抗層、第2層は $0.2\sim 1\text{k}\Omega\text{-cm}$ の比抵抗値をもつ層、最下層は $0.1\text{k}\Omega\text{-cm}$ 以下の比抵抗値をもつ層である。第1層の厚さは大きいところで $5\sim 6$ m小さいところで2m程度である。第2層の厚さは6m~18m程度である。B_v. 1地点では深さ3.5mのところに第1層と第2層の境界、深さ12.0mに第2層と第3層の境界が存在する。B_v. 2地点では深さ4.0mと16.0mに境界が存在する。

3. 地中内部歪計による観測結果

ボーリング孔内に地中内部歪計を埋設して地中歪を測定し、すべり面判定を行なおうとした。B_v. 1, B_v. 2, 地点では32mの深さ迄、B_v. 3地点では39mの深さ迄歪計を埋め込み、観測を38年12月10日より行なつた。(B_v. 3は39年10月より)。観測結果をFig. 8, Fig. 9, Fig. 10に示す。それぞれの観測点における各深さ毎の歪量を時間的な積算量でかいてある。

B_v. 1の観測結果

2 m から 8 m の間では歪量の変化は小さい。10m, 12mでは昭和39年以来歪は負の方向にあらわれ12mではそのままの状況がつづき, 10mでは昭和40年1月より再び正の歪をうけ現在ではほぼ観測開始当時の状態に戻っている。20mでは 1.7×10^{-3} 程度の歪が観測されている。26m, 28m, 30m, 32m, 34mでは歪量の変動が大である。28mの歪は $-1.13 \times 10^{-2} \sim +4.0 \times 10^{-3}$ の値の間を上下している。30m層の歪は当初は0であつたものが昭和39年4月以来負の値をとっており, 一時は0の値に回復しかけたが再び負の方向に歪をうけている。32m層では昭和39年1月より正の歪をうけ(最大 5.9×10^{-3}), 1月末より3月末迄負方向の歪をうけている。(最大値 -6.1×10^{-3})。34m層は徐々に正の歪をうけ(昭和40年4月に最大値 $+1.2 \times 10^{-3}$) それ以後は負方向に歪をうけ7月には最大値 -1.18×10^{-2} に達した。

Bv. 2 孔における観測結果

6 mは次第に正の歪をうけていく途中で断線しており, それ以後も正の歪をうけたことが予想される。

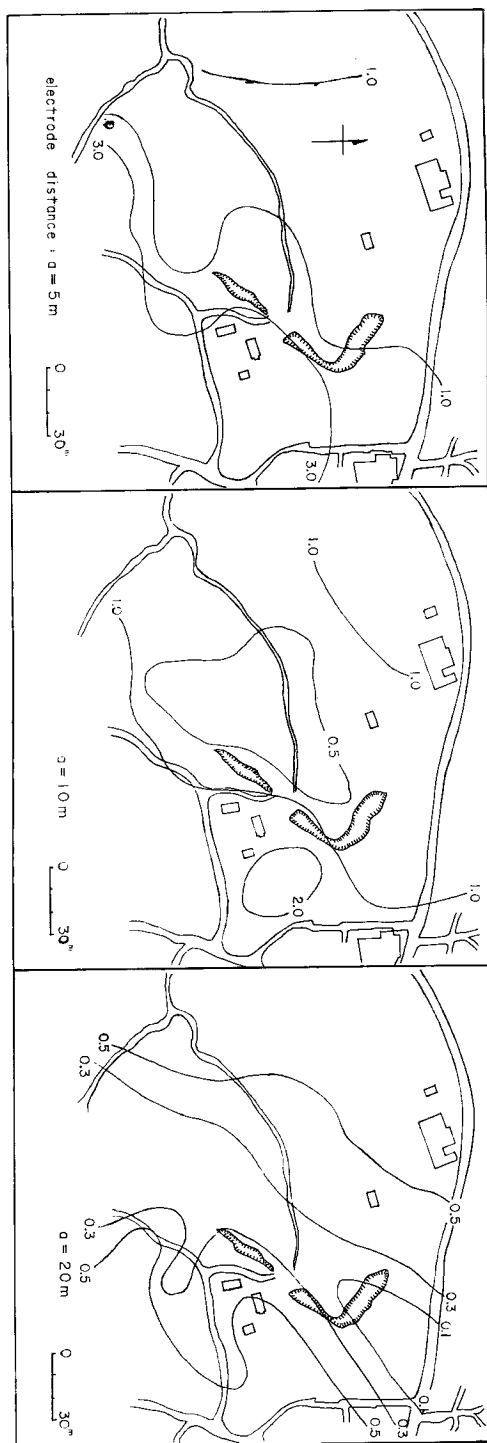
Bv. 3 孔における観測結果

21m, 23mに大きな歪の変化がみられる。21mでは $-4.4 \times 10^{-3} \sim +7.1 \times 10^{-3}$, 23mでは $-8.5 \times 10^{-3} \sim +1.1 \times 10^{-3}$ 。21m と 23m の歪は互いに関連をもっている。即ち 21mが負の歪をうけると23mも負の歪をうける。

4. 自然放射能探査の結果

自然放射能探査(r 線強度の測定)の結果を Fig. 11 に示す。バックグラウンドの値としてはC-8測点での測定値(0.441×10^{-1} mr/h)をとり, この値の1.5倍以上の r 線強度が測定された地域が高放射能帯であると考えた。図のとおり2つの陥没地をとり囲むようにして高放射能帯が存在していることが明らかにした。

Fig. 5 The horizontal distribution of apparent resistivity



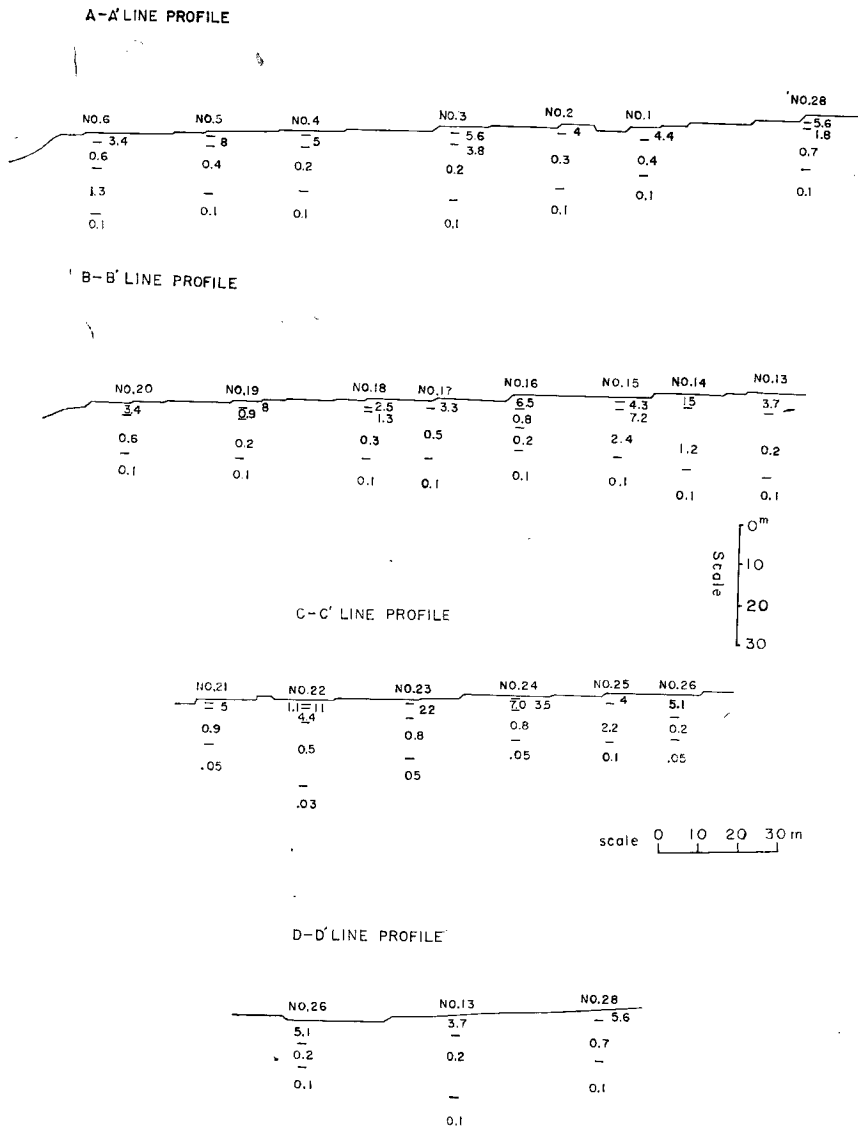


Fig. 6 The profile by vertical sounding I

5. 地下水追跡の結果

12月17日(昭和39年)午前9時にボーリング孔Bv. 3に食塩30kgを投入し、電気伝導度を測定することにより食塩の到達を確認した。結果を Fig. 12に示す。地下水流速によつて観測点は次の3つのグループに分けることができる。

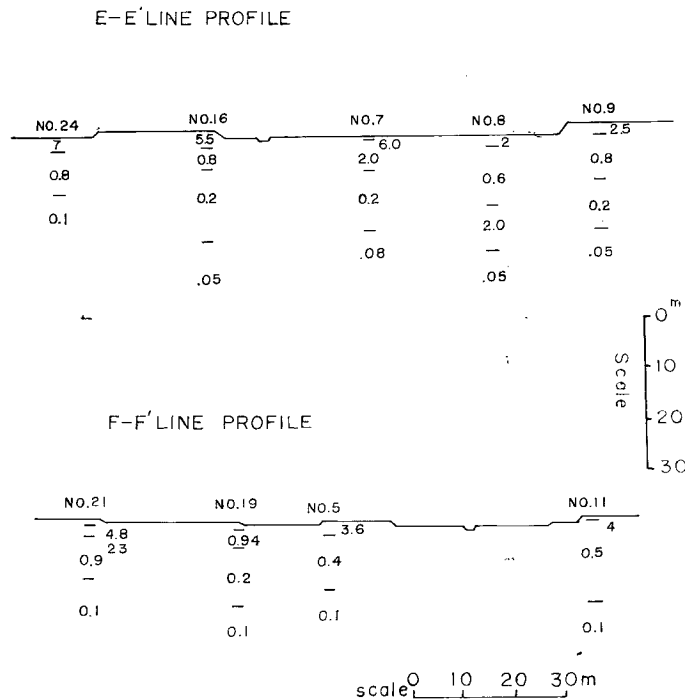


Fig 7 The profile by vertical sounding II

- 1) 食塩の到達が確認できなかった地点
- 2) 流速 $V=0.36\sim0.48\text{cm/sec}$ の地点
- 3) 流速 $V=1.16\sim2.08\text{cm/sec}$ の地点

1) は $B_v. 1$ の下方から $B_v. 2$ 迄の間に集まっている。南から北東に向う川の上流にも未検出点はあるがこの地点については $B_v. 3$ の方向からの地下水流はないものとみてよい。2) は地すべり地内を通る小川の合流点付近に集まっている。3) は小川が合流した地点より下流側に2点、上流側に1点ある。 $B_v. 1$ で採水した水の電気伝導度の値は他の点で採水した水の電気伝導度の値より大きい。 $B_v. 1$ では25mの深さで採水を行なったのであり、他観測点の水とは経路を異にしている（流れてくる深さのちがい）と考えられる。実際 $B_v. 1$ の30m付近の地下水は硫化水素を含んでいる。

6. 地温分布調査の結果

昭和40年7月17日から21日にかけて地温分布調査を実施した。この期間中は数日来雨が降ったりやんだりの状態で地温分布調査には必ずしも適当であるとはいえなかったが興味ある結果が得られた。**Fig. 13**の折線が地温の測定値である。**Fig. 13**では測定値に基づいて推定した地下水流路を一緒に示してある。また $B_v. 3$ より数mはなれたところに直径数mの池があり、地すべり地のさらに背後にも池があるので、これらのため池からの漏水が地すべり地内に流れ込んでいることが予想された。池の周囲に測点を設け地温を測定したが漏水が水平方向に行なわれていることを示す程の地温の変化はなかった。しかし本年夏の渇水期には数10cmの水位低下が観測されたので、蒸発による水位低下以外に下方への漏水があり地すべり地中央部へ流れ込んでいると考えられる。

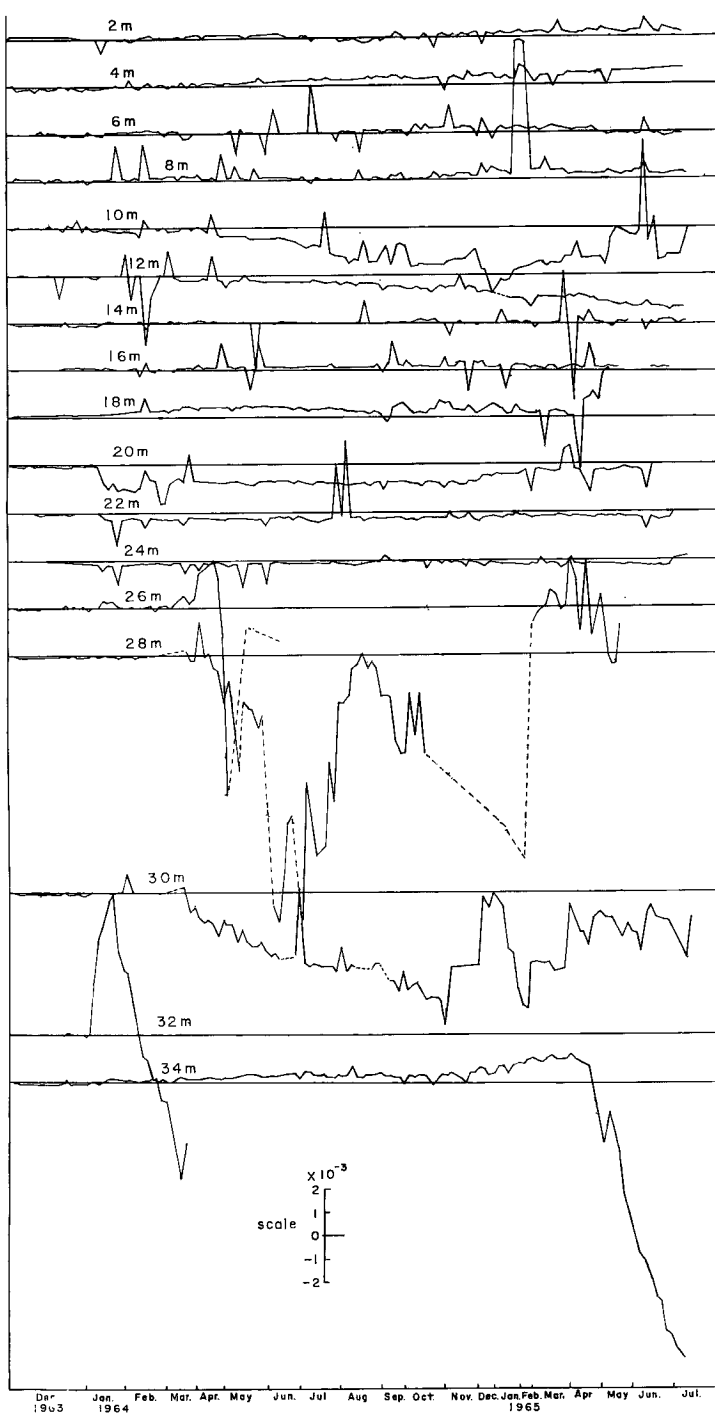


Fig. 8 Lapse variation of internal strain at Bv. 1

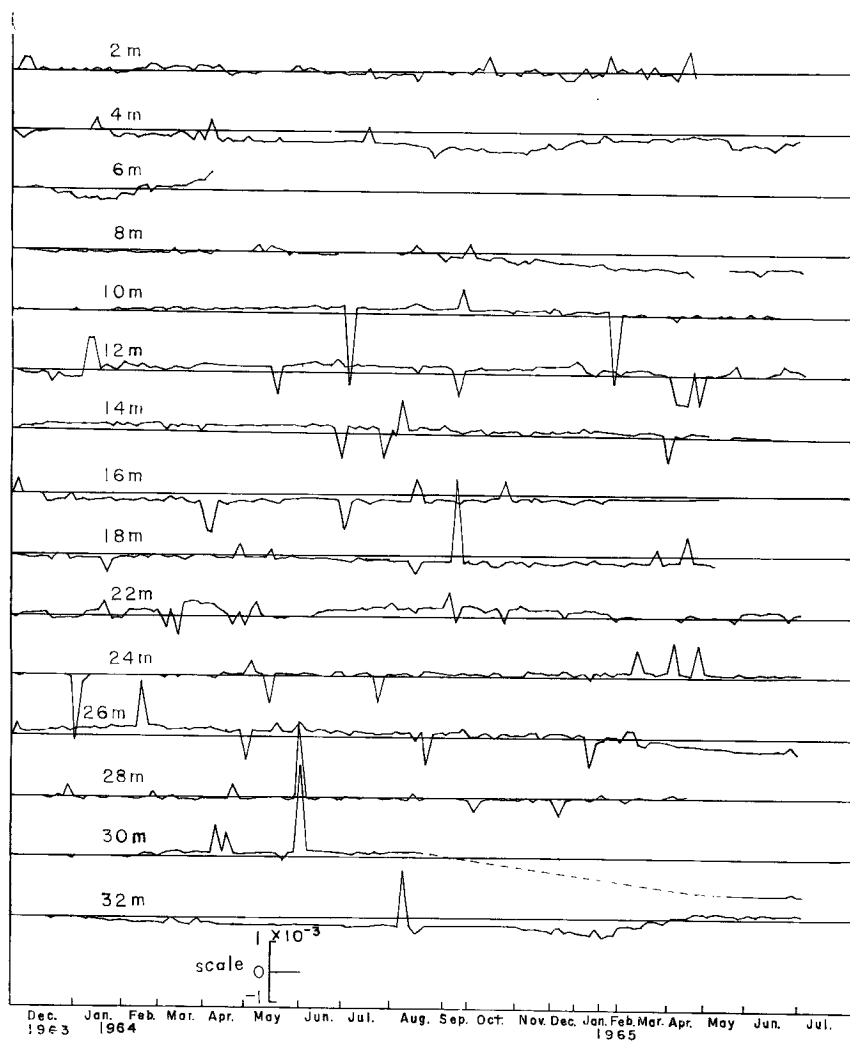


Fig. 9 Lapse variation of internal strain at Bv.2

7. 地下水位観測の結果

地下水位に関しては長期にわたる継続的な観測はなく、断片的な記録があるのみであるが、これから当地下水の特徴についていくらかの知識を得ることができる。Bv. 1 孔は掘った当時(昭和38年11月~12月)は地下水位はみとめられず、かえって31m~33m層(砂岩層)で逃水がさかんに起こった。しかし降雨が続くと地下水位は急激に上昇し、昭和40年7月21日にはボーリング孔天端より1.5m、地表面下約1.0mのところに地下水面があった。このような地下水位の急上昇はFig. 14の観測例にみることができる。地表より7.5m近くあった地下水面は13日の37mmの降雨によって急上昇して2日後には地表下1.6mのところに迄地下水面が達し、その後も断続的に降雨があるため1.9mから0mを維持しつづけている。Bv. 2 孔も掘削当時は地下水位はみとめられなかった。しかし昭和40年7月21日には地下水面が地表面迄達しているのが観測された。このことよりBv. 2における地下水位の変動もやはりBv. 1とほぼ同様の挙動を示していることが予想される。Bv. 3の地下水面は掘進当時地表面下3.6mにあつたがその後の変動の記録はない。

8. 雨量および土地伸縮量の観測結果

ボーリング孔Bv. 1に隣接し、陥没と直角にしかも陥没下端をはさむようにして伸縮計を設置した。従って観測の結果得られる伸縮量は水平方向への土塊の移動とともにわずかではあるが陥没部の沈下によるものも含まれるわけである。伸縮計の線の長さは10mであり真の伸縮量はよみとり値の $\frac{1}{5}$ である。図15ではよみとり値で表示してある。よみとり値の100mmは歪量にして 2×10^{-2} に相当する。グラフは正方向が伸びである。Fig. 15では土地伸縮量とともに日雨量の記録をあらわした。当地の年間の降雨量は836mm(昭和39年7月より昭和40年6月)であつた。図よ

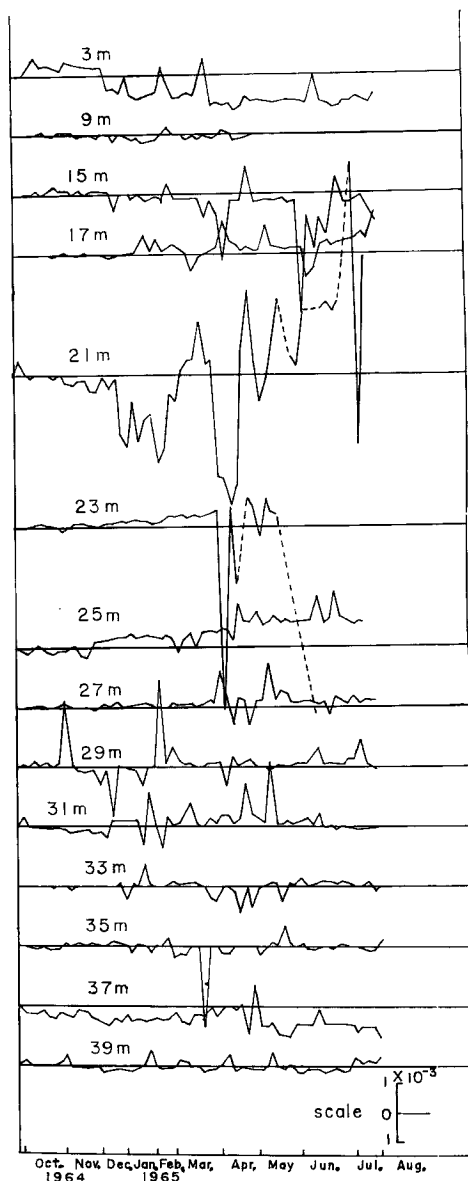
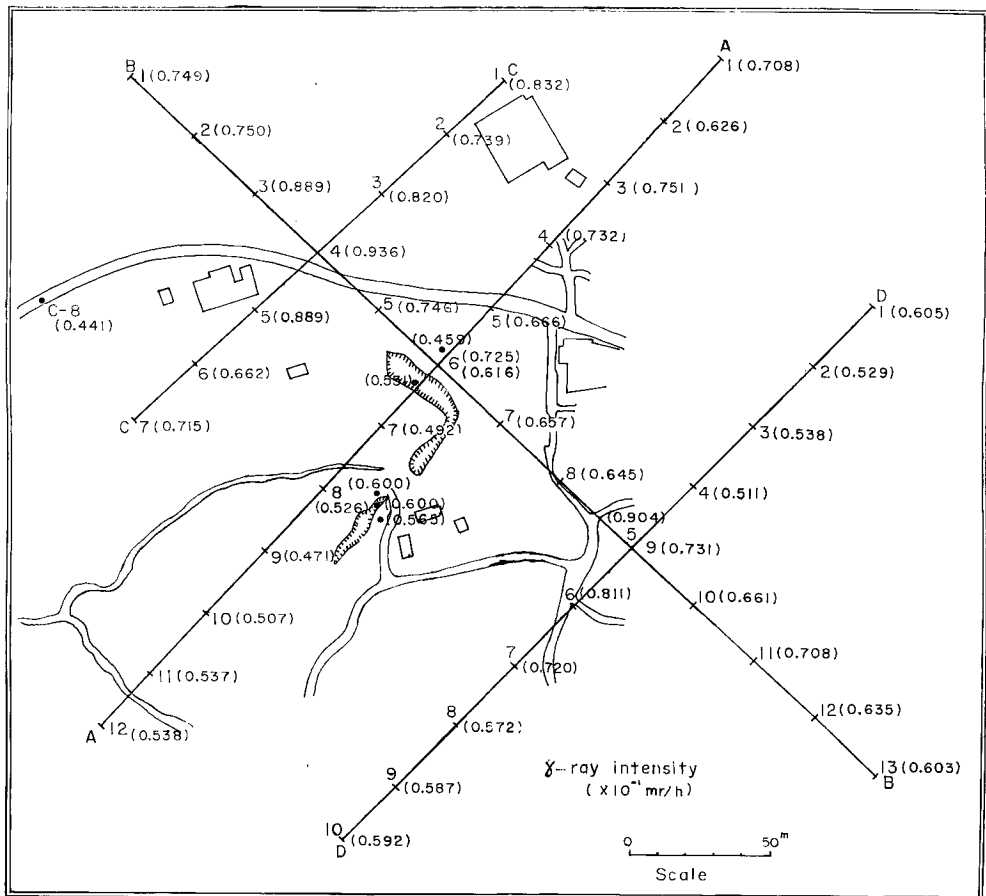


Fig. 10 Lapse variation of internal strain at Bv. 3

Fig. 11 The horizontal distribution of r -ray intensity

り降雨量と土地伸縮量の間に関係があることをみることができる。日雨量と降雨当日の雨量の関係、月降雨量と月伸縮量の関係をしらべてみると後者の方が相関がよく、降雨の影響が幾日かにおいて伸縮計の記録にあらわれることを示している。日降雨量と降雨日からN日目迄の土地伸縮量の関係を、日雨量が20mm未満の降雨と日雨量が20mm以上の降雨にわけてしらべてみた結果、前者では5日目に相関係数、伸縮量の増加の割合が最大値をとり、後者では相関係数が6日目、伸縮量の増加の割合は5日目に最大となる。このことより降雨量の多少に拘らず伸縮は降雨後5～6日位を単位としておこつていことがわかる。降水の浸潤が自由浸潤の式に従うとして深さ10m迄に達するのに5日かかるとすれば（有効空隙率は5%として）透水係数は $1.2 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ となり、地下水が10m迄の層に貯溜することが土地伸縮量と関係が深いことが裏付けられる。当地の勾配は $3^\circ \sim 5^\circ$ 程度であり、これより地下水流速を求めると 10^{-6} cm/sec の程度となる。地下水追跡の結果によれば実際に水が $10^0 \sim 10^{-1} \text{ cm/sec}$ の程度で流れているので水平方向の水は主として層の境界あるいはさけ目を通して流れているものと推定される。

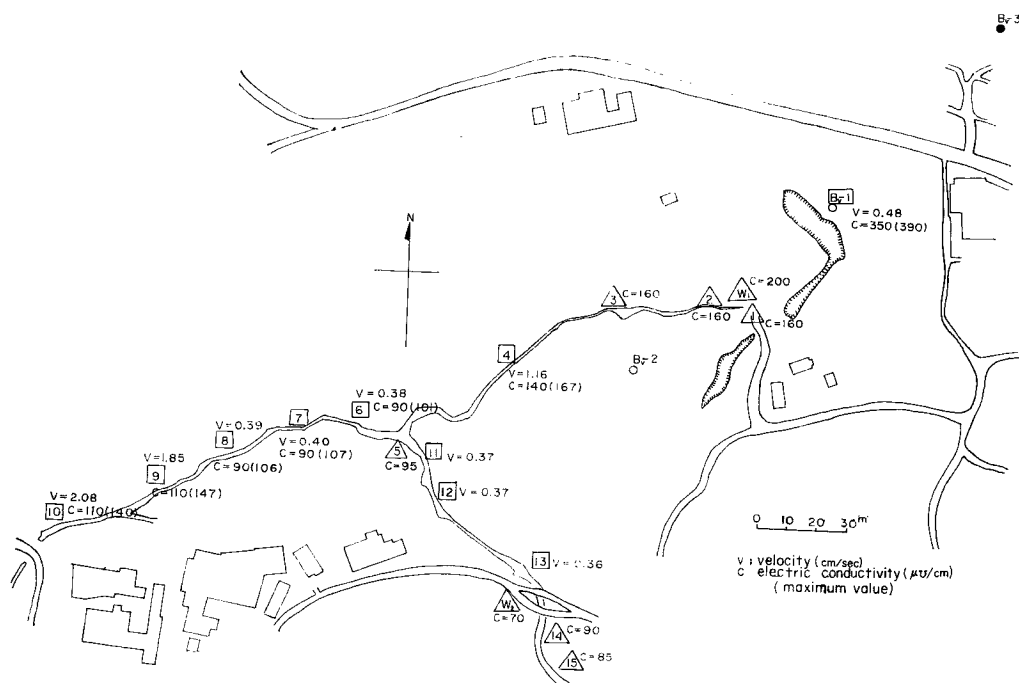


Fig. 12 Groundwater velocity obtained by tracer method NaCl was thrown into Bv.3
 △ shows an undetected station, □ a detected station.

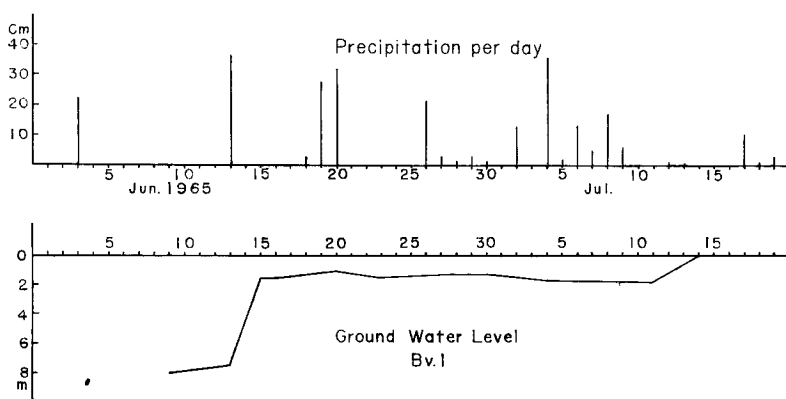
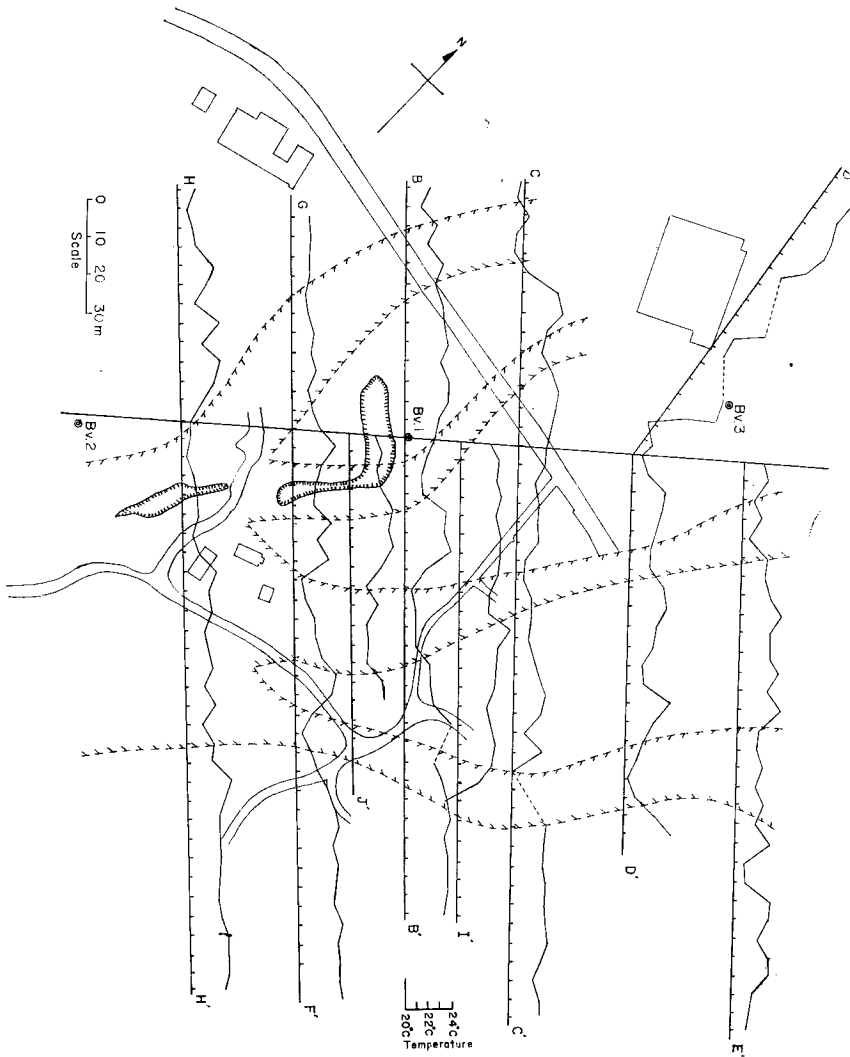


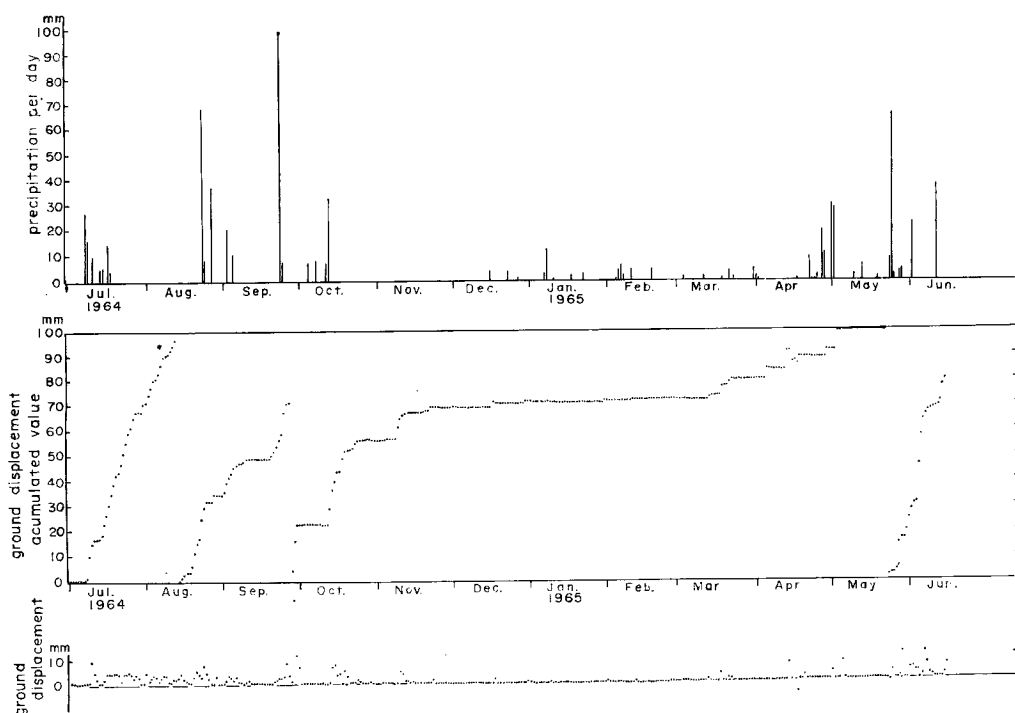
Fig. 14 Records of rainfall and groundwater level Fig.

Fig. 13 The horizontal distribution of underground temperature and groundwater vein.



考 察

Bv. 1 の地質柱状図によれば 31m から 33m の間は透水性の大きい砂岩であり、その上部に粘土化しやすい頁岩がある。一方地中内部歪計の観測より 32m 層でパイプは昭和 39 年 1 月 13 日より 2 月 9 日迄川方向に曲げられそれ以後逆方向にもどされている。これらのことは 32m では中抜け現象がおこっていることを示している。即ち 32m 層の硫化水素を含む地下水が砂岩、頁岩層を浸食しつつ押し流してパイプに正の歪を生じさせ、土塊が流れ去った後にはパイプに歪を生じさせなくなった。それと同時に上部土塊の上載圧によって陥没が生じたと考えられる。陥没に相当する土量の隆起は地すべり地下方ではみあたらないこともこれを裏付けている。Bv. 1 の 28m から 34m の歪計の解析結果からは 30m 付近のみであった浸食作用が次第に上層および下層（とくに上層）に拡大していっていることがわかる。それぞれの層では歪は正または負に変動



15 Precipitation and Records of the extensometer

する。34m が比較的硬い砂岩層であるため上部の頁岩層の浸食におくれて浸食がおこっていることがわかる。一方この層に相当する Bv. 3 の層は 23m および 21m である。23m では40年4月以降歪は正負に変動し Bv. 1 付近と同じ現象がおこりつつある。21m では次第に歪は正方向に増大し、土塊が川方向へ移動を始めつつあることを示す。但しその歪量は最大値で 7.1×10^{-3} 程度である。このように Bv. 1 の 30m 付近および Bv. 3 の 21m 付近は中抜け現象をおこしており、しかも初めは Bv. 1 付近だけの現象であったものが次第に Bv. 3 まで波及していき、すべり面を形成しつつあるようである。Bv. 1, Bv. 3 のそれぞれ 30m, 21m の深さを流れる地下水が相互に関連があることは地下水追跡の結果より明らかにされており、また水の補給経路については自然放射能探査の結果より知ることができる。Bv. 2 では Bv. 1, Bv. 3 にみられる上記の層に相当する層はみられない。Bv. 1 の内部歪計の観測によれば 30m 付近の他に 18m~20m および 10m に歪の変化がみられる。18m の歪は最大 3.8×10^{-3} で小さくすべり面であると断定できない。10m 層の歪は最初負の値をとりその絶対値が増大していく。 (-3.9×10^{-3}) が昭和40年1月より正の方向にかり最大値 3.7×10^{-3} をとるに至る。この層は他の解析結果とあわせてすべり層であると判定した。電気探査の結果ではほぼ12m のところに不連続面があることが見出され、また地質柱状図からも 9.0m 迄の砂岩は亀れつが多く、それ以深の頁岩と様相を異にしているからである。また伸縮記録と雨量の関係から降雨の多少に拘らず、降雨後5~6日単位で土地の伸縮がおこっていることもこのことを裏づける。地温調査の結果は10m 迄の層の地下水がどのような経路をとおつて地すべり地内に入ってくるかを明らかにした。それによると陥没部分を通り抜けるようにして流れる流路があるがさらにこれは流下して他の流路と合流して Bv. 2 の東側に湿地帯を形成する。以上の考察より当地の縦断面図を描くと(3つのボーリング孔を結んだ線上) Fig. 16

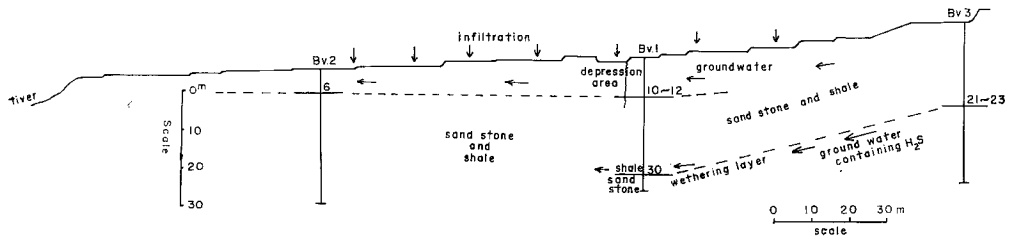


Fig. 16 The profile of the Mikage Landslide Area

のようになる。矢印は地下水流を示す。地下水追跡の結果から10m迄の層の地下水流は Bv. 1 と Bv. 2 の間では水は比較的深い層を流れ、Bv. 2 付近で再び地表近くを水が流れるとしてよい。直接の浸透水および地すべり地の周囲から集められた地下水はこのようにして地下10m以下の難透水性の砂岩、頁岩により下方への浸透を妨げられまた傾斜がゆるやかであることにたすけられて表層に貯溜し、粘土層、シルト層を刺激して移動をおこしていると考えられる。それ故当地すべり地の対策としては杭打ち工の他に排水について考えるべきであろう。現在地すべり地内の水路にビニールを張って浸透を防ぐ方法がおこなわれている。また陥没地内に集水井を設けることが計画されている。

謝 辞

調査を行なうにあたりお世話になつた兵庫県砂防課の各位、神戸土木出張所有野詰所の各位に厚くお礼を申し上げる。また調査に御協力いただいた神影の方々に感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 山口真一、高田雄次、竹内篤雄“松之山地すべり地の地下水観測について”京都大学防災研究所年報第8号、昭和39年、567頁。
- 2) 高田雄次“地すべり地の内部歪測定について”京都大学防災研究所年報第8号、昭和39年、579頁。
- 3) C.O. Wisler, E.F. Brater “Hydrology”, 2nd edition 122頁
- 4) 川畑幸夫、水文気象学、昭和36年、178頁
- 5) Poluvarinoba-Kochina “Theory of Groundwater” 488頁