

御殿山地すべりの移動機構

山口真一, 高田雄次, 竹内篤雄

MOVEMENT MECHANISM OF GOTENYAMA LAND-SLIDE

By Shinichi YAMAGUCHI, Yuji TAKADA, Atsuo TAKEUCHI

Synopsis

For grasping the characteristics of the Gotenyama landslide, we executed investigations by means of internal strain gauge, tiltmeter, extenso-meter, bedrock survey and electric survey.

As the result of these, we got the following :

- 1) This area didn't move as one large mass, but as some small blocks, moving directions of which were not the same.
- 2) Sub-slide surface was moved by astimulation of the movement of upper slide mass.
- 3) Movement of ground surface layer suffered remarkable effects of snow-fall and thaw.
- 4) We executed cutting of upper part mass, on the ground that the upper part mass of landslide area accelerated the movement of lower part mass. Consequently, the movement of lower part have been stopping.

1. 序 論

御殿山地すべりは、兵庫県美方郡村岡町の御殿山と呼ばれる小高い山の中腹斜面に発生した地すべりに名付けられた名称である。(Fig. 1) 当地すべり地は、昭和33年頃より緩慢な地すべり活動を続けており、昭和36年頃やや顕著な動きを示した後、一時小康状態を保っていたが、昭和38年に再び活動が激しくなりはじめた。これまでも、地すべり調査と防止工事が行われて来ていたが、動きの再び活発になった昭和38年より系統的な調査を実施し、その結果に基づいて防止工事が順次行われ、その成果も次第に上って来ている。

今まで実施した調査の結果得られた情報に基づき、本地すべりの移動機構について究明して見たので、その概要を述べる。

2. 調 査 結 果

本地すべり地は、県立村岡高等学校校舎に、地すべりによる亀裂、傾斜等の被害が現われて授業に支障をきたす状態になっていた。そこで、校舎の移転か、あるいは、防止工事で地すべり運動を止めるかという問題に直面し、早急に結論を下す必要が生じた。そのため出来るだけ多くの資料より総合的判断をする方法を採用し、電気探査、伸縮計、傾斜計、地中内部歪計、地下水流路調査、土質試験等の調査、観測を行った。各測定器の位置を Fig. 2 に示す。

2-1. 電気探査結果

電気探査を行った目的は、概ねの地下構造を推定し、ボーリングの位置と掘さく深度を決定する資料を得ることである。電気探査には電極の配列方法により幾種類かの探査方法があるが、今回は平均三極法で測定

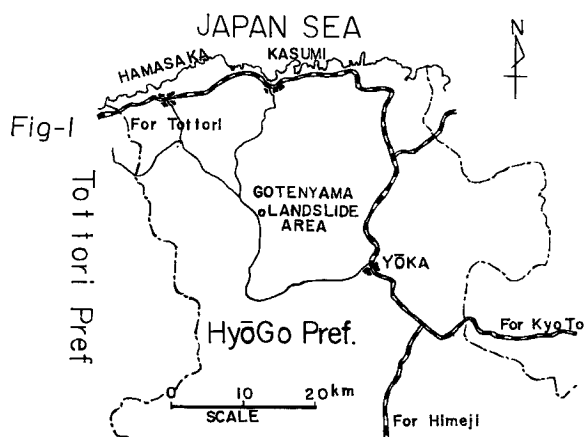


Fig. 1 The location of The Gotenyama land-slide area

Fig 2

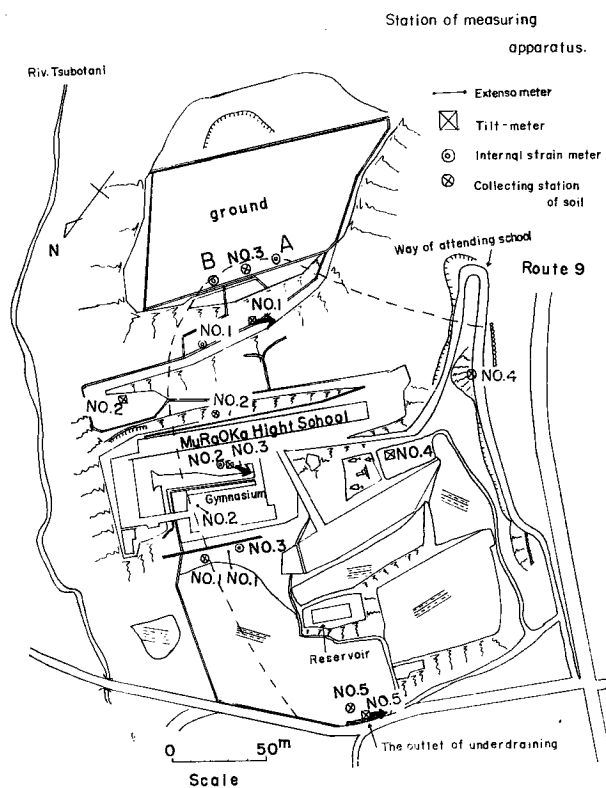


Fig. 2 Station of measuring apparatus.

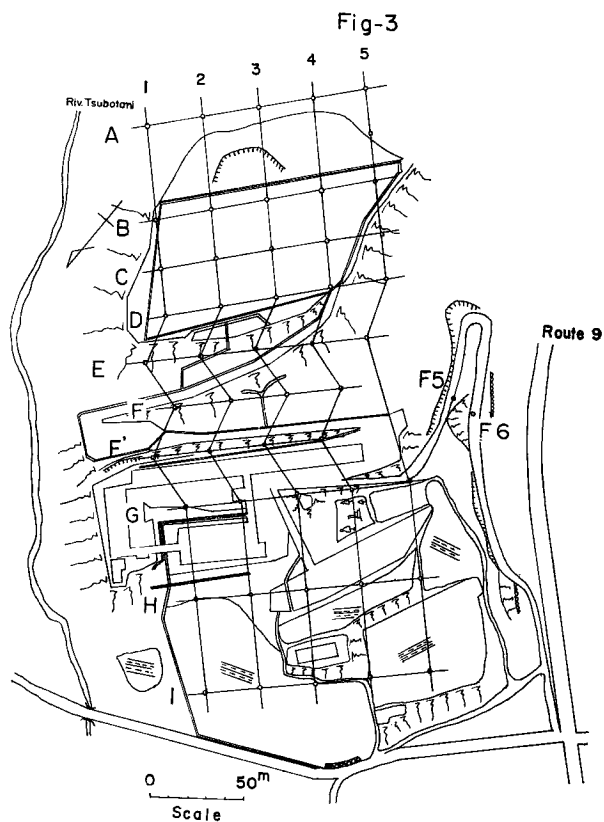


Fig. 3 The location of measuring point & line of electric survey.

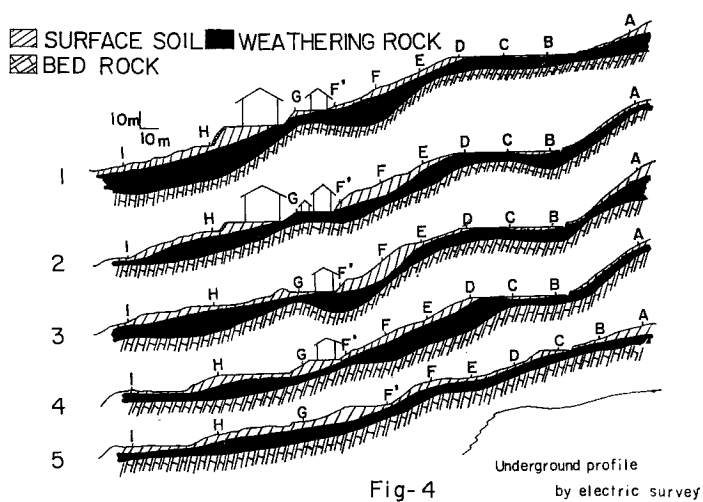


Fig. 4 Assumed diagram of underground profile by electric survey.

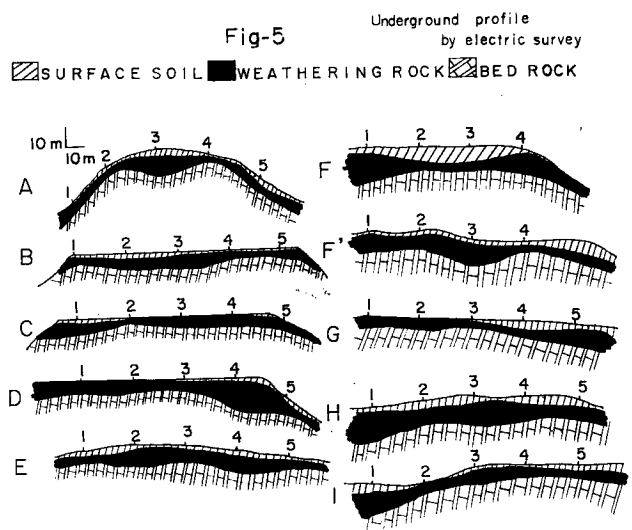
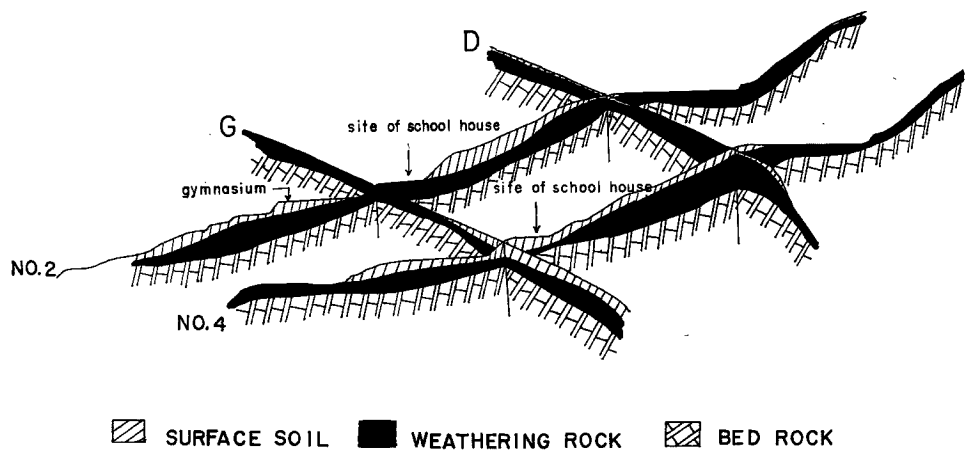


Fig. 5 Assumed diagram of underground profile by electric survey.



▨ SURFACE SOIL ■ WEATHERING ROCK ▨ BED ROCK

Fig-6 Underground profile by electric survey

Fig. 6 Assumed diagram of underground profile by electric survey.

した。予察の結果、本地すべり地の基盤までの深さは比較的浅いものと推定されたので、測定深度を浅く取り、その代り測点を多く設けて基盤の起伏状態を詳しく調査した。測点及び測線の位置は、Fig. 3 に示す。

測定結果を解析し、大地比抵抗値の垂直変化の様子をまとめたものが、Fig. 4～6 である。各断面について推定された地下構造は、1～5 k Ω -cm の表土層、その下に 10～80 k Ω -cm の風化層（凝灰質）、最下部に 100 k Ω -cm 内外の凝灰岩と頁岩の互層からなる基岩があり、何れも三層構造を形成しているものと考えられる。比抵抗値から推定されるすべり層は第二層目の風化層帯であり、基盤までの深さは 10m 前後であり、表面移動の激しい部分では風化層が厚い傾向が見られる。Fig. 6 を見ると明らかに、電気探査により推定された地下構造から見れば、本校舎に及ぼす移動力と体育館に及ぼされる移動力とは、その因は同一のものであり、本校舎に亀裂を生じさせている土圧は上部土塊の押しによるものと考えられる。本校舎付近に与えられた土圧が体育館付近に伝達されたものと見える。

2-2. 伸縮計観測結果

地すべりの表面移動機構を調べるには、地中内部歪計、伸縮計、傾斜計等がある。このうち伸縮計は気象条件（特に降雨、融雪量）が地すべり運動とどのような関係にあるかを等り、表層部の移動形態を考察するのに適した測定器具である。

本地すべり地にも昭和39年3月以降、Fig. 2 に示す位置に2台の伸縮計を設置し、測定を行っている。計器の倍率は5倍である。伸縮計と降雨融雪との関係は、Fig. 7 に示してある。これに依ると、伸縮計 No. 2 は昭和39年2月中旬より2、3月の降雪（約1m）の影響と思われる異常な伸びが生じており、3月中旬の融雪時には加速的な伸びが記録されている。しかし、梅雨時には約550mmの降雨があったにも拘らず、No. 2 は伸縮を殆んど起していない。一方伸縮計 No. 1 は3月中旬より少しずつ伸びを示しているが、その量は、No. 2 に較べて $\frac{1}{10}$ 程度である。伸縮量は、No. 2 では平均 4×10^{-2} 、No. 1 では 1×10^{-3} である。然し、この両者の値について伸縮計の設置位置、測線方向の違い等より考えて同じ比重で見るとはいかない。

仮りに、No. 1 も No. 2 の動きをしたと考え、方向の差を補正した場合、No. 1 の動きは、No. 2 の $\frac{1}{4}$ 程度になる。しかし、No. 1 の動きはそれより更に $\frac{1}{10}$ 程度小さいことから見て、No. 1 付近にはもはや No. 2 で生じている伸縮の影響は表われていないと考えられる。No. 1 のグラフに於て、昭和40年1月15日～2月20日にかけて、縮みが記録されているが、この縮みが地すべり移動に於て何を示しているかは現在検討中である。

2-3. 傾斜計観測結果

傾斜計は地すべり土塊の移動に伴う地表面の傾きを把え、土塊の移動機構を解明するための一資料を得る目的で、Fig. 2 に示す場所に水管式傾斜計を5台設置した。観測は昭和38年度より行っているが、特に昭和39年10月以降に焦点を絞ってその傾斜傾向を調べてみる。観測結果は Fig. 9 に示してある。

これによると、No. 1, 3, 5 は移動土塊と考えられ、No. 2, 4 は比較的安定な土塊と考えられる。Fig. 2 に昭和40年7月現在で傾斜している方向が印してある。

伸縮計 No. 2 の伸びと比較して見ると、傾斜計 No. 3 の傾斜方向はローテーション型を想定すれば、妥当な方向に傾いているが、No. 1, No. 5 の傾斜方向と、No. 4 が殆んど傾斜変動を示していないことを考え合わせると、本地すべりの移動方向並びに地すべりの範囲を推定することは現在の所困難である。

傾斜計 No. 1 と比較して、傾斜計 No. 3 の傾斜方向を見ると、本校舎より山側の動きと、体育館の動きとは別のものと思われるが、この問題は項を改めて述べる。

2-4. 地中内部歪計観測結果

地中内部歪計は、地中内部の土塊の移動の様子やすべり面の深さなどに関する資料を得るために、昭和39年度に3本、40年度に2本の計5本を Fig. 2 に示す位置に埋設した。39年度には、No. 2 の歪計が10月30日に故障した（40年2月に修理）以外は順調な測定が出来た。歪計柱状図を Fig. 10～12 に示した。歪計

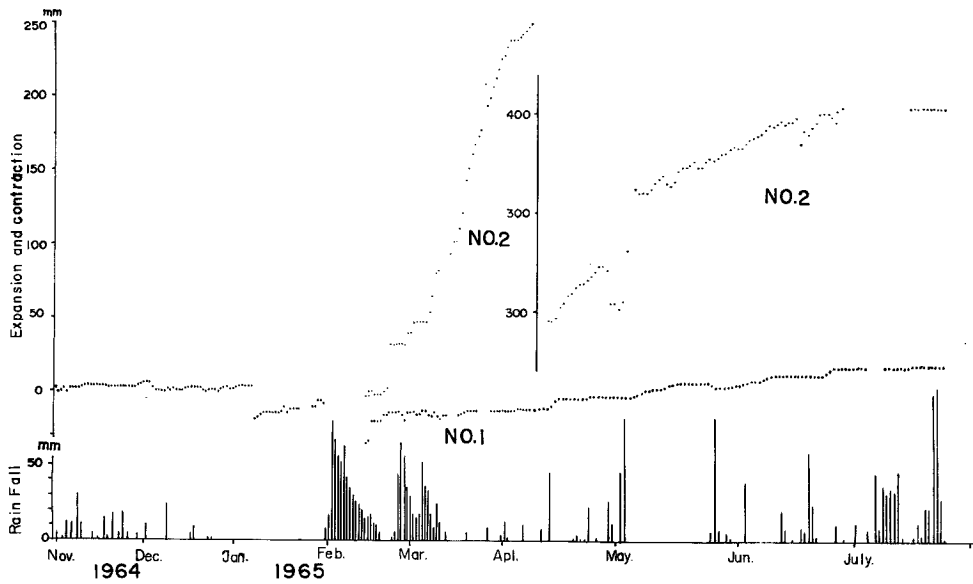


Fig-7

Fig. 7 Relation between extenso-meter & rainfall,

Fig-8

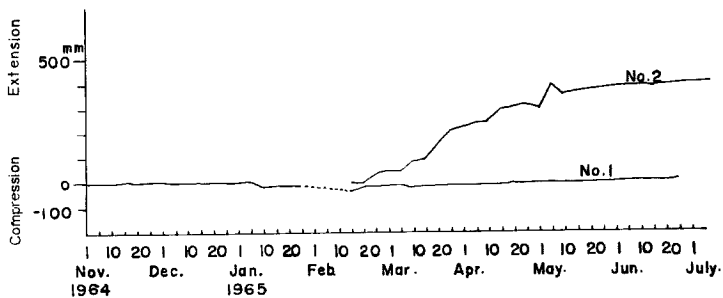


Fig. 8 Variation of extenso-meter at five day interval,

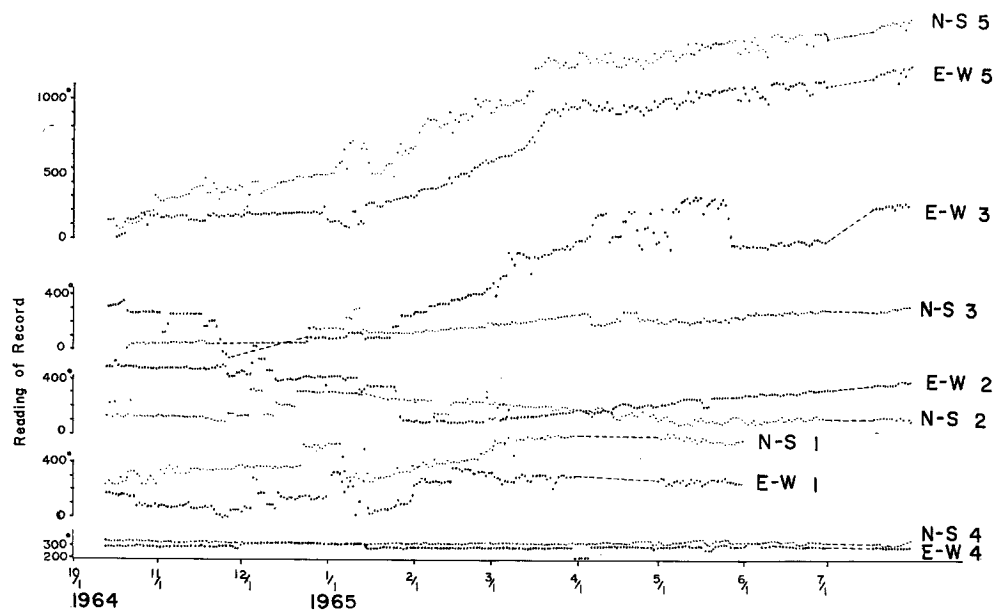


Fig. 9 Variation of tilt-meter,

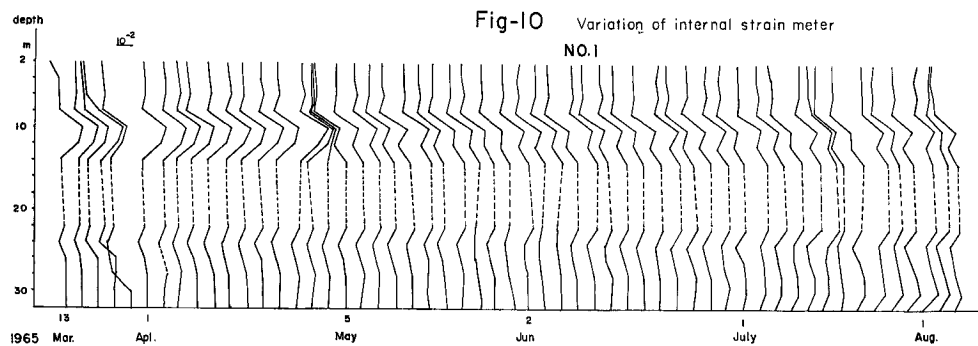


Fig. 10 Variation of internal strain gauge No. 1.

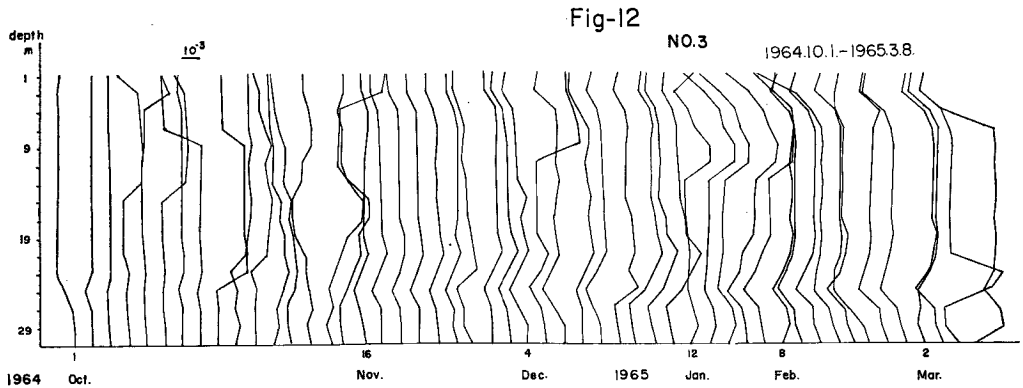


Fig. 12 (a) Variation of internal strain gauge No. 3.

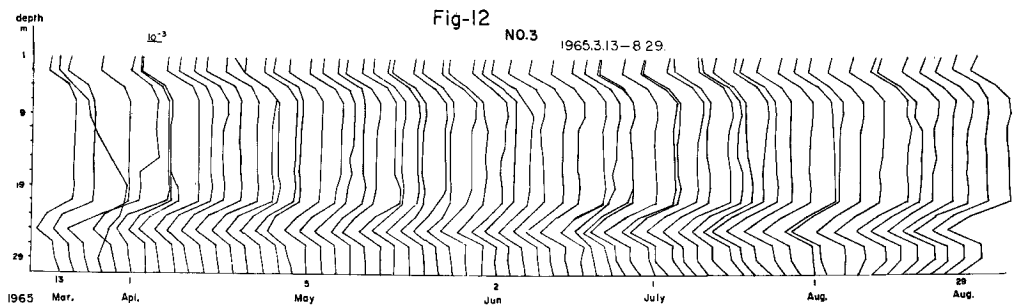


Fig. 12 (b) Variation of internal strain gauge No. 3.

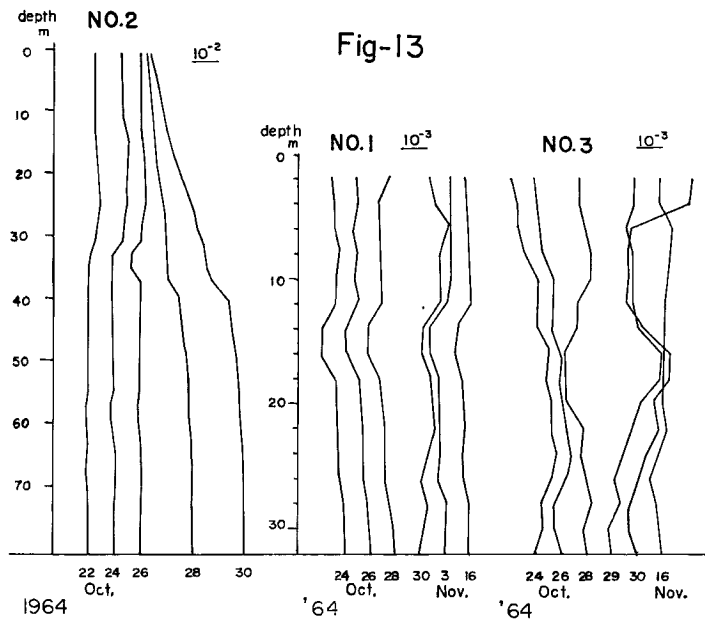


Fig. 13 Variation of internal strain gauge No.1-No. 3 between the latter part of October & the first part of November, 1964.

No. 2 は10月15日頃より次第に歪量が増加し、恰も歪量が大きくなりすぎて測定器がスケールアウトした如き様子を示しているが(Fig. 11), No. 2 が歪量測定不能であった時に、歪計 No. 1, 3 は動作しており、No. 2 の歪量が、これ程大きければ、当然歪計 No. 1, 3 にも歪量の変化が表われてもよいはずである。No. 1, 3 の歪量を検討して見ると、Fig. 13 に示す如く、昭和39年10月30日には何れの歪計も歪量に変化が表われている。この点から推して、10月30日前後に土塊に何らかの変動があったことは確かである。11月16日には、歪計 No. 1, 3 共歪量の変化は殆んどなくなっている。この時の各歪計の歪量の変化の表われている深さは、No. 1 は 9 m, No. 2 は 37m, No. 3 は 17m である。この時期の他の資料としては、傾斜計があるが、これによると、Fig. 14 に見るように、10月20~30日の間での変化は、No. 5, 3, 1 共に 2' 程度の傾きを生じている。従って、歪計、傾斜計の測定結果より見て、10月20日~11月上旬にかけて土塊に何か急激な変動が生じたことは確かである。

昭和40年度に入ると、各測点において様々な結果が得られるようになった。歪計 A, B は40年3月に本地すべり地の上端部の亀裂付近に設置したものであり、長さは 15m である。(Fig. 2) 歪計の測定結果は、Fig. 15, 16 及び Fig. 17, 18 に歪計柱状図、歪量経日変化図として示してある。又昭和40年3月以降の歪計 No. 1~No. 3 の歪量経日変化図を Fig. 19~20 に示した。

Fig. 10~12, Fig. 15, 16 の各図を見ると、歪計 No. A 及び No. 2 の歪量が大きく、その他の歪計は 10^{-2} の桁では殆んど変化が見られない。すべり面に関しては、 10^{-4} に拡大して書いた歪量経日変化図(Fig. 17~21)と前述の各深さの変化面から判断すると、No. A では 9 m, No. B では 8 m, No. 1 は殆んど一定であって明らかでないが、昭和20年2~3月の歪量変化から見て、8 mと推せられ、No. 2 では 7 m, 15m, 75m, No. 3 では21~25m 及び 3 m の各深さに土塊の移動によって生じた変化が得られる。これらの結果を基にしてすべり面を描いたものが、Fig. 22 である。

2-5. 地下水流路調査結果

地すべり発生直後路査に行くと、地すべり上部滑落崖の中腹より、恰も排水ボーリングを行った如くに多量の地下水が噴出している事実をたびたび経験する。地すべり地の地下水の様子は非常に複雑であることは論を待たない、しかし地下水流が帯状になっているのか、或は脈状になっているのかという疑問は早くから持たれているにも拘わらず、今だに明確な答は得られていない。しかし、多量の水が噴出するという点から見て、地すべり地近傍、地すべり地内では地下水は脈状になって存在している可能性が強い。

地すべり分野における地下水調査は、トレーサー投入孔と検出孔との間が同一の地下水として連っているかどうかを見る方法であるが、一つには検出点の数によつて調査の精度が大きく左右され、一つには投入孔より検出孔までの経路が不明であるため、排水工法を行う場合適当な場所を指摘することがむずかしい。つまり場所選定に任意性があるので、その成果は、解析者の技倆に左右される場合が多い。

そこで、これらの難点を解決しようとして考案されたものが、同深地温測定による地下水脈探査法である。その可能性は山口等¹⁾が研究中であり、その成果は次第に上りつつある。本地すべり地においては、貯水池の北西にある擁壁において、5 l/sec の湧水があり、常時 14~13°C の水温を保っているので、この真上で地温探査の可能性を検討した。

測定には、市販の 1/10 目盛検定付の棒状寒暖計を用い、受感部にはゴムキャップを付けて行った。湧水点の真上で測定した結果他の地点の測定結果に比べて、2~3°C 温度が低くなっており、地温探査の可能性が暗示された。

昭和39年夏、40年夏の2回にわたって、本地すべり地の地温探査を実施した。測点、測線は2回共同じ場所で行った。2回の測定により地温の低い場所はほぼ一致しており、水脈について大別すれば、現在崩壊の進んでいる登校坂へ至るものと、本校舎から貯水池付近を通して、擁壁に至るもの更に、本校舎から擁壁の少し西方にある竹ヤブ付近に至るものの三つの水脈が推定された。(Fig. 23, 24)

Fig-14 Variation of tilt meter

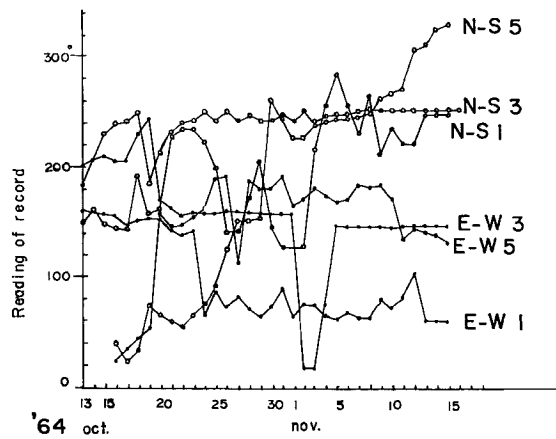


Fig. 14 Variation of tilt-meter No. 1, No. 3 & No.5 between the latter part of October & the first part of November 1964.

Fig-15 NO.A

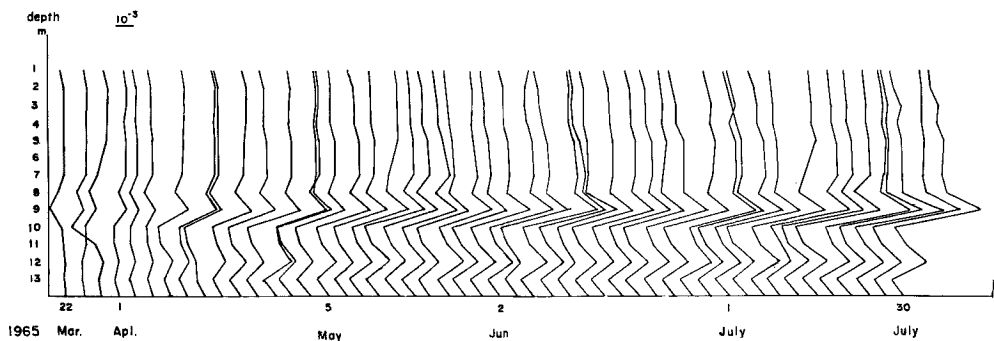


Fig. 15 Variation of internal strain gauge No. A.

Fig-16 NO.B

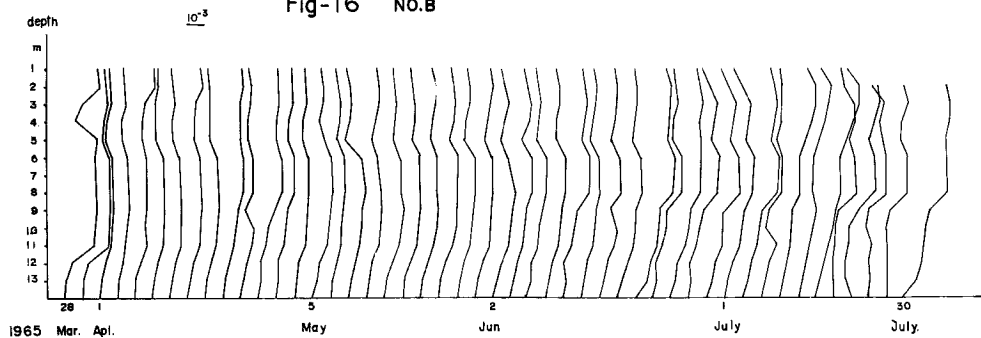


Fig. 16 Variation of internal strain gauge No. B.

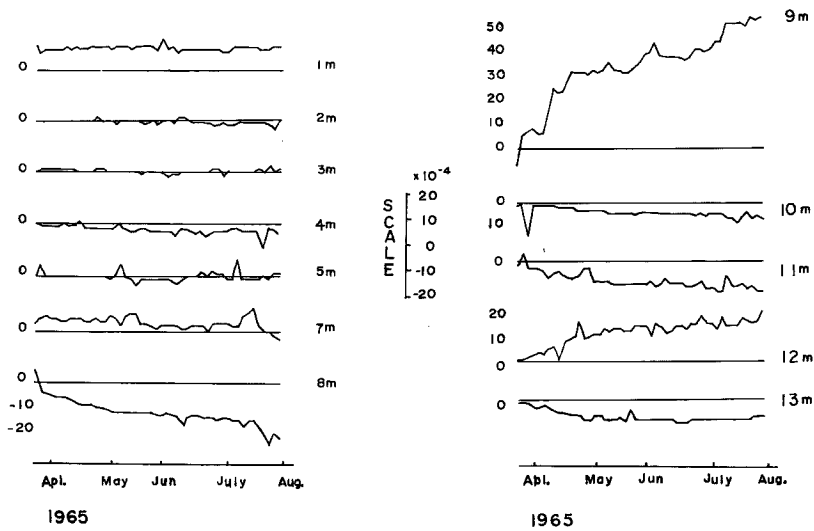


Fig-17

Fig. 17 Lapse variation of each depth of internal strain gauge No. A.

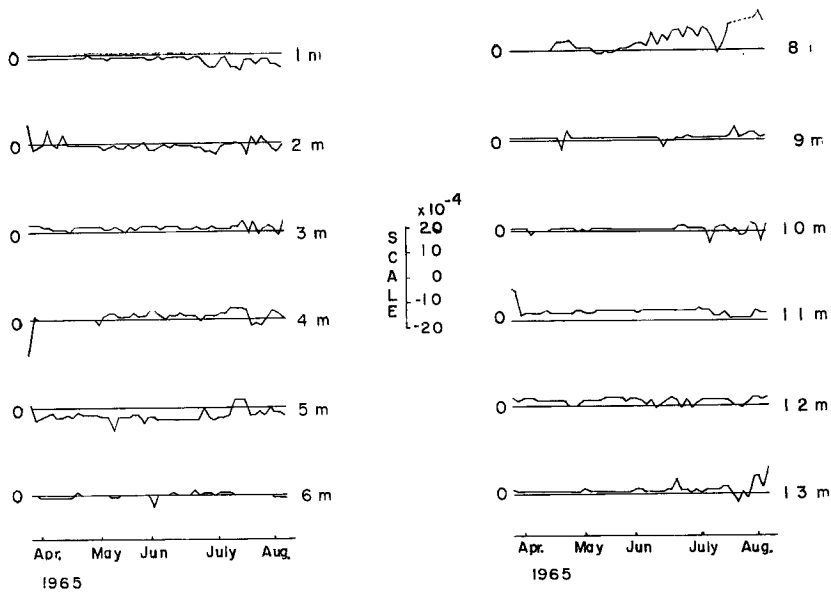


Fig-18

Fig. 18 Lapse variation of each depth of internal strain gauge No. B.

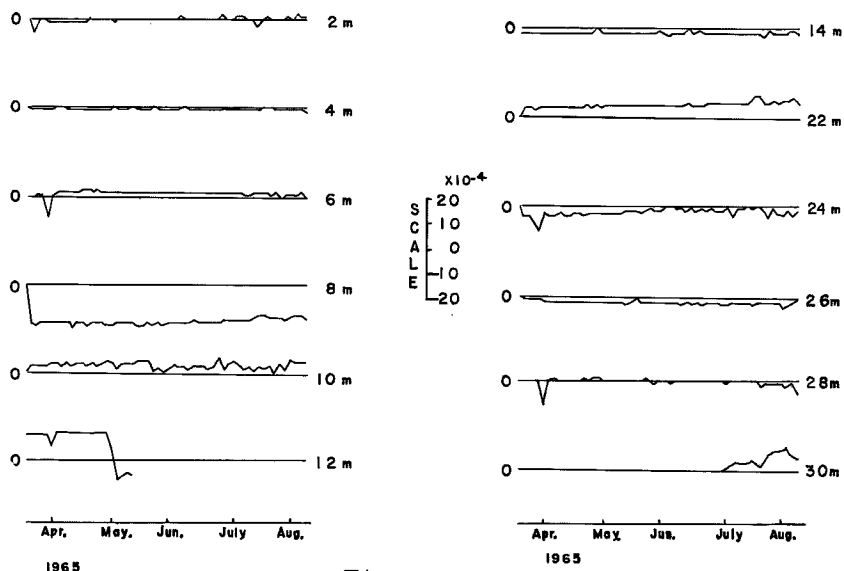


Fig-19

Fig. 19 Lapse variation of each depth of internal strain gauge No. 1.

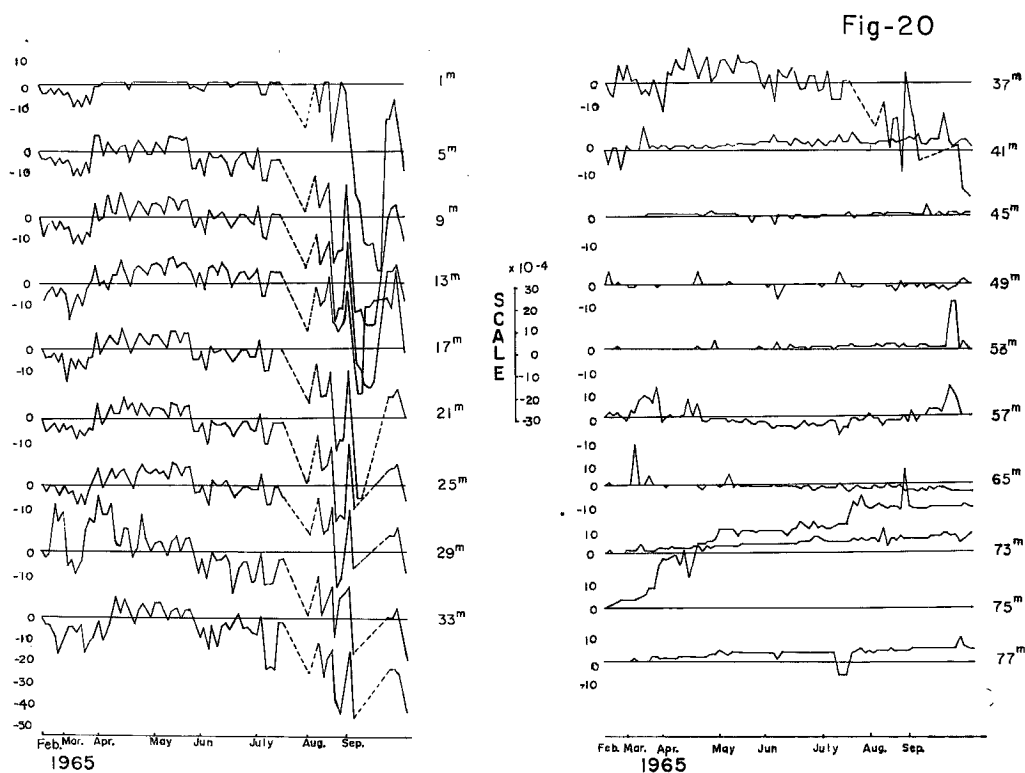


Fig-20

Fig. 20 Lapse variation of each depth of internal strain gauge No. 2.

Fig-21 NO.3

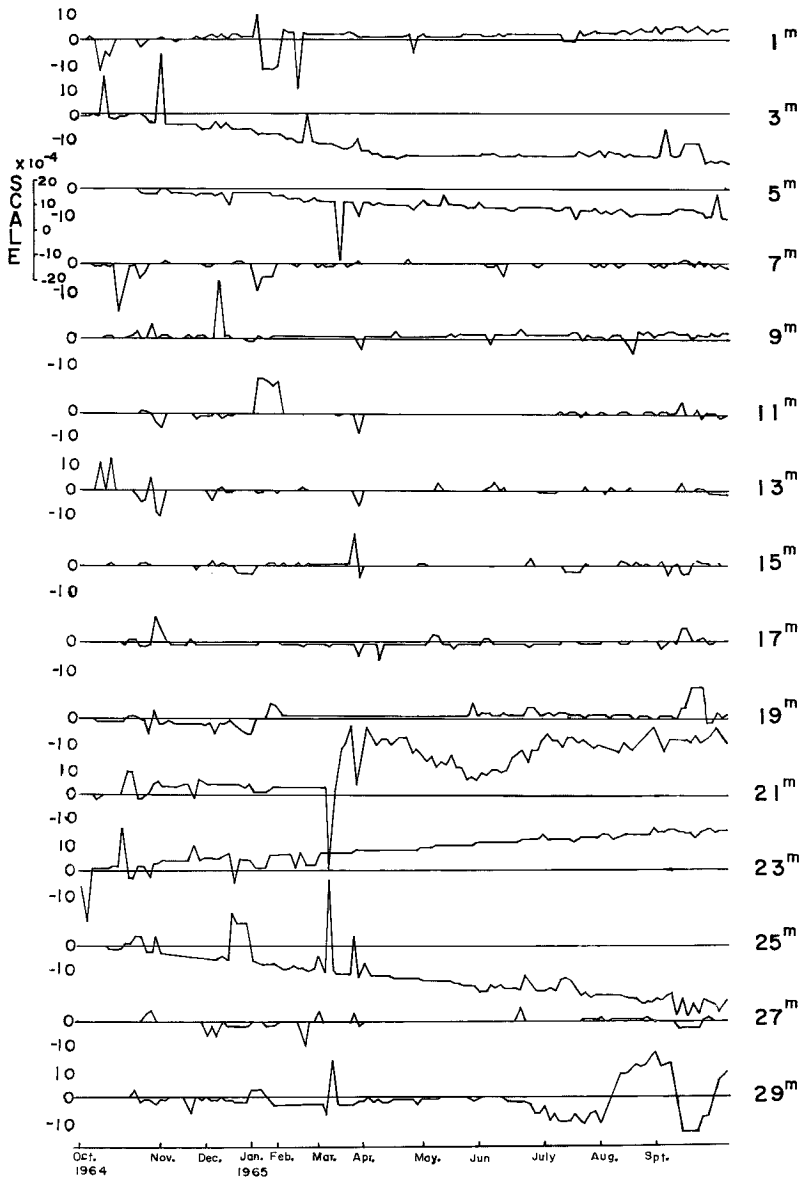


Fig. 21 Lapse variation of each depth of internal strain gauge No. 3.

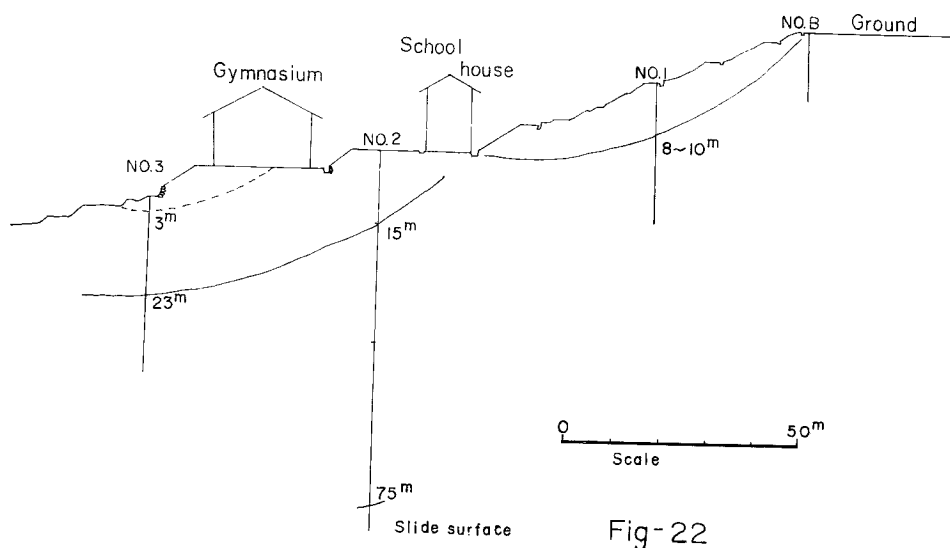
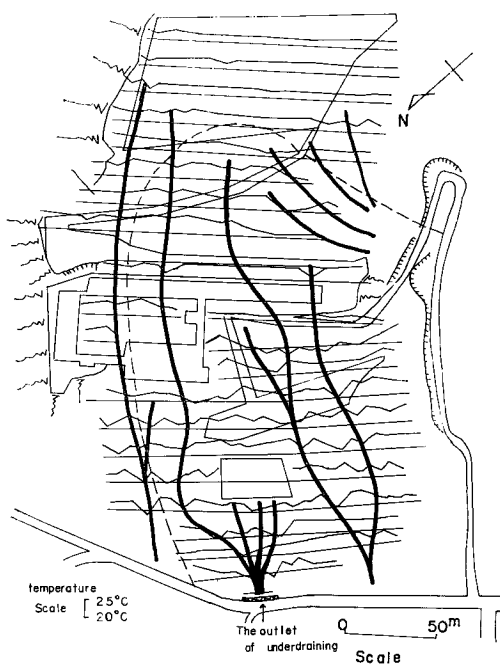


Fig. 22 Type of assumed slide surface by internal strain gauge.



1964

Fig. 23 Assumption of underground water veins, (by horizontal survey of underground temperature) investigated 1964 Aug.

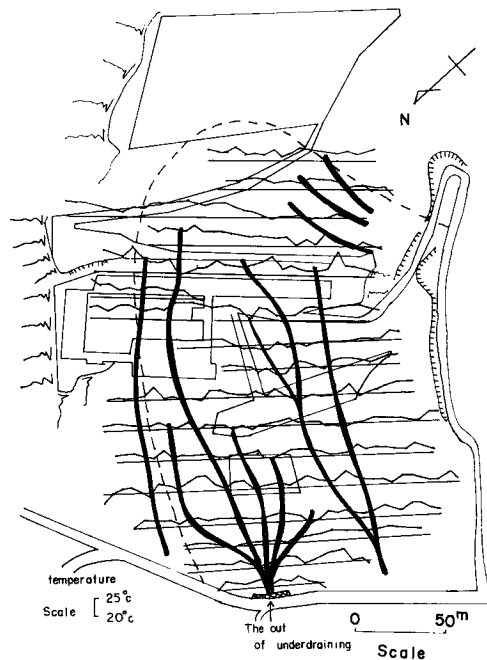


Fig-24 1965'

Fig. 24 Assumption of underground water veins. (by holisontal survey of underground temperature) investigated 1965 Aug.

2-6. 土質試験結果

地すべり防止工事を実施する段階において、地すべり地の土塊が持っている物理的性質を知ることが、個々の地すべり地に適した防止工法を採用する上に重要な問題である。今回は一軸圧縮試験器を使用して、本地すべり地の土塊の粘着力を調べて見た。

資料採集地点は、Fig. 2 に示してあるように、体育館の伸縮計 No. 1 の側、本校舎裏の斜面、ブランド、登校坂の崩土、地すべり末端部の擁壁の側の5ヶ所である。

一軸圧縮試験の測定において要求されることは、乱されない資料を用いることである。しかし、現実問題として、不攪乱資料として信頼出来る資料採取法、及び資料の不攪乱状態のまま実験室まで輸送する方法等の点で疑問の余地があるので、必ずしも完全な不攪乱試料を得ることが出来るとは言えない。

そこで、これらの不確実な点を取り除く意味で、始めから攪乱資料として試験することとした。採取資料を充分こね合せ、自然含水比を種々変化させて、この含水比の変化に伴う粘着力の低下の割合を求め、この結果より自然含水状態における粘着力を推定する方法を用いた。Fig. 25~29 は各資料の測定結果を示したものであり、各資料の自然含水比における粘着力は Table 1 に示した。

試験結果によると、自然含水比は土塊の性質によって個々異っているが、粘着力はいずれの資料も $1.2 \sim 1.5 \text{ ton/m}^2$ の間の値を取っており、自然状態では斜面安定問題を論ずる場合、土塊の粘着力の相違を議論する必要は殆んどなくなっている。しかし、一度豪雨又は融雪等によって土塊が水の供給を多量に受けた場合、各資料採取点の土質の相違が顕著に大きくなり、斜面安定問題を論ずる場合無視出来なくなってくる。このことは Table 2 にはっきり示されている。

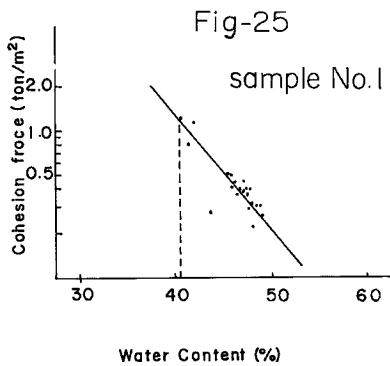


Fig. 25 Result of soil test by unconfined compression test sample No. 1.

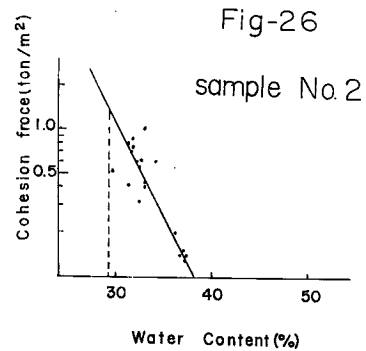


Fig. 26 Result of soil test by unconfined compression test sample No. 2.

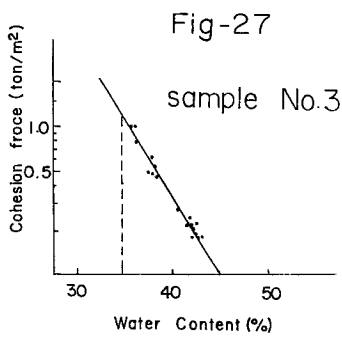


Fig. 27 Result of soil test by unconfined compression test sample No. 3.

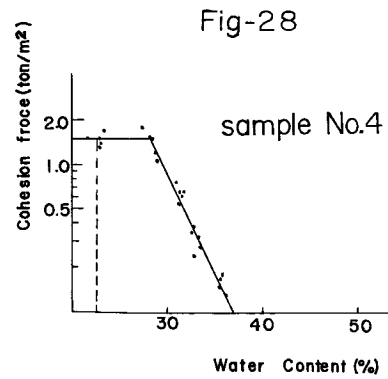


Fig. 28 Result of soil test by unconfined compression test sample No. 4.

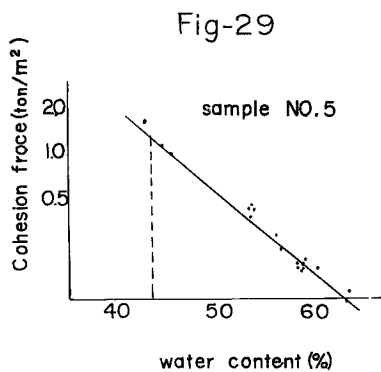


Fig. 29 Result of soil test by unconfined compression test sample No. 5.

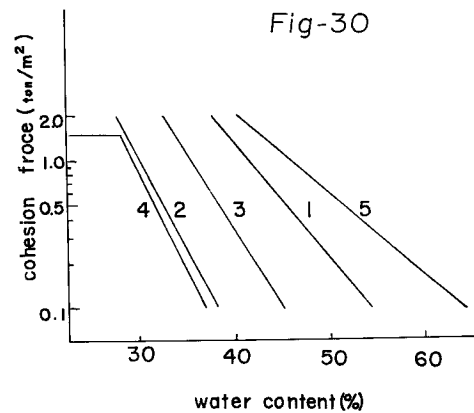


Fig. 30 Comparison of each sample by result of unconfined compression test.

Table-1 Cohesion force on nature water content

Sample	Nature water content (%)	Cohesion force (ton/m ²)
No. 1	40.5	1.25
No. 2	28.9	1.40
No. 3	34.8	1.20
No. 4	22.9	1.50
No. 5	43.9	1.26

Table-2 Variation of cohesion force by variation of water content

Sample	(1)	(2)	(3)
No. 1	1.25	0.19	4.9
No. 2	1.40	0.11	3.6
No. 3	1.26	0.098	3.6
No. 4	1.50	0.35	8.8
No. 5	1.36	0.32	8.6

- (1) Cohesion force on nature water content (%)
 (2) Cohesion force when water content was increased 10%. (ton/m²)
 (3) The rate of increase when cohesion force decreased 0.5ton/m².

3. 考察—地すべり移動形態について

昭和39年度、40年度にわたって行って来た各調査、測定を解析した結果について論じて来たが、これらの結果を総合し、本地すべり地の特長について考察して見る。

本地すべり地は、Fig. 2 に示されている通り、亀裂の入った場所を追跡すると馬蹄型になり、常識的には馬蹄型の頂点から底辺中央に向つてすべるものと考えられる。ところが、傾斜計において、No. 1 は地すべり上端部の斜面に直角方向に傾斜しており、No. 3 はほぼ斜面に沿った妥当な方向に傾斜している。No. 4 は地すべり地の中央部にあり動きが激しいと予想されていたが、傾動は殆んど認められない。No. 5 は地すべり末端部にあり、傾斜方向は No. 1 と殆んど同一方向である。このような各傾斜計の傾斜状態から見て、傾斜計の資料からは、この馬蹄型の地すべり範囲を裏づける結果は得られなかった。

地中内部歪計で歪量の大きい場所は No. A、No. 2 であり、傾斜計の傾動の激しい場所と歪計の歪量の大きい場所はほぼ一致している。

運動場の南西端付近は、電気探査の結果によると、風化岩の層厚が厚く、基盤は南西方向に傾いていることから、歪計 No. A、傾斜計 No. 1 の動きは、北東から南西方向への土塊の移動をとらえているということが考えられる。一方歪計 No. 2、傾斜計 No. 3 の動きは、運動場南西端部の土塊とは別の動きを示しており、移動方向はほぼ西方向と思われる。更に、この2つの動きとは別に本校舎から運動場にかけての斜面にも土塊の移動があり、その方向は北西方向であり、この移動土塊の土圧が本校舎に亀裂、傾斜等の被害を発生させていると考えられる。運動場より本校舎にかけて存在している土塊と、本校舎より体育館にかけて存在している土塊とは、一連の地すべり移動を起していると思われるが、後者は、体育館の南東にある盤基の傾斜によつて、その移動方向を変えさせられているものと解釈した。傾斜計 No. 4 の傾動が殆んどないのは、そこが不動地であると考えれば説明がつく。(Fig. 31)

Fig-31

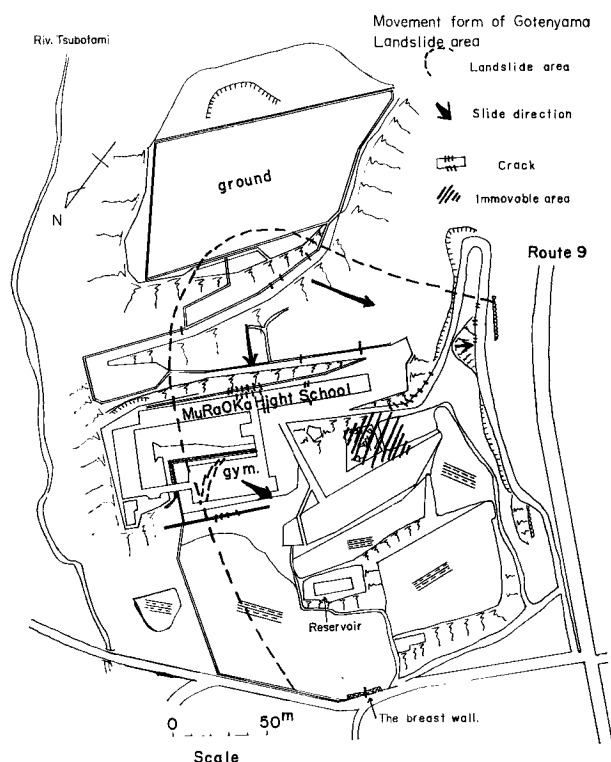


Fig. 31 Assumed movement mechanism of the Gotenyama landslide area.

更に、歪計 No. 2 の測点で 75m の深さで測定されている歪量は次第にその値を増加して来ており、これは前述の土塊運動とは別に大きな動きが始まっているのではないかという疑問が生じて来る。傾斜計 No. 5 の動きの原因は、この大きなすべり面の影響によるものか、あるいは別の貯水池あたりを上端とする土塊運動の影響によるものなのかは今の所これを検討する資料が他にない。

以上述べて来たような土塊の動きを誘起させるものとして、土塊の性質が考えられる。すでに述べた如く自然含水比の状態では $1.2 \sim 1.5 \text{ ton/m}^2$ ある粘着力が移動の激しい土塊では含水比が 5% 増加すると、その粘着力は $\frac{1}{2}$ に低下する。それ故に、斜面安定問題について論ずる場合は、この点を充分考慮する必要があるのではなかろうか。

地下水流路探査と電気探査の結果より見ると、本校舎の南西方向と、運動場の南西部に地下水流路の存在が推定され、そこは、風化が他の場所に較べて速く進んでおり、特に、本校舎南西方面は基盤がポケット状に凹んでおりそこが地下水のたまり場となつていないかと思われる。地すべり上部において、地下水流路があると推定される場所はいずれも土塊の動きが他の場所に較べて激しくなっており、地下水供給により土の粘着が低下し、斜面を不安定にしていることを示している。

4. 結 論

以上、御殿山地すべり地の調査、報告並びに、それに基づいて本地すべり地の移動機構の解明を行つた。その結果次のような結論が得られた。

- 1) この地すべり地は、一つの大きな土塊としてすべっているのではなく、幾つかの小さなブロックに分れて個々異つた方向に移動している。
- 2) 上層部の土塊の移動に刺激されて、地下深部にあつた潜在すべり面が活動をはじめている。
- 3) 表層部の土塊の移動は、降雪、融雪によつて大きな影響を受ける。
- 4) 運動場から本校舎斜面にかけて存在する土塊の移動が、本校舎から体育館にかけて存在する土塊の移動を促進していると推定されたので、地すべり上部の土塊を昭和40年6月以降において、約3万 m^3 の排土を行つた。

この結果、体育館にある亀裂を挟んで設置した伸縮計No. 2の動きが6月以降より顕著にふくたつて来ている。

今回の諸調査の結果、本地すべり地の適格な移動方向の把握、歪計 No. 2 の 75m において測定されたすべり面に対する明確な判断、地温探査結果の解釈の任意性の解決等色々な問題点が出て来た。今後これらの問題点を解決するために地すべり地内の測定器の新設、再調査等を行つていきたいと考えている。

5. 謝 辞

本地すべり地の移動機構を解明するための諸調査を実施するに当つては、兵庫県土木部砂防課の倉上課長をはじめ内田地すべり係長、山仲技師、並びに浜坂土木出張所村岡詰所の方々に大変お世話になりましたことをここに記し謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 山口・高田・竹内；“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 No. 8 1964 p. p. 567~577