

地すべり地における土地ひずみの観測 (Ⅲ)

—清水谷地域の地すべりについて—

高 田 理 夫

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

By Michio TAKADA

Synopsis

At Kamenose Landslide zone located in Toge, Kashiwara City, Osaka Prefecture, the geophysical investigation to establish the perfect stabilization plan has begun at 1962.

First of all, seismic prospecting along 9 traverse lines were carried out in this area and the fractured zone distributed NW—SE, dividing this area into two blocks was caught.

The observations of ground-strain are being carried out by 74 wire type extensometers set up along 8 survey lines. Considering the distribution of strains, also the landslide block in this area was divided in two by fractured zone and the change of strain was the largest near the fractured zone.

In the case of landslide due to soil mass removal, the peculiar variations of ground-strain and ground-tilt were found which seemed to be the forerunning phenomena to the landslide.

1. 序

大和川が奈良盆地の小流を集めながら西流し、一本となり生駒山脈を横断して大阪平野にぬける付近は、通称「亀の瀬」と呼ばれ、峡谷をなしている。この左岸は奈良県北葛城郡王寺町で、明神山・二上山と続き急峻な地形となっており、この裾を関西本線・国道25号線が走り、関西交通網の幹線となっている。また、右岸は大阪府柏原市峠町で、はるか北の方に信貴・生駒の山並みを望み、付近一帯は緩やかな丘陵地帯となっており、肥沃な土壌と南の日ざしをうける傾斜地は果樹の生育に適し、古くからぶどう・桃・みかん等の産地として有名である。このような、一見のどかな丘陵地帯も宿命的な地すべり地で、昔から度重なる地すべりによる被害を受けており、中でも1931年年末から起った地すべりは、峠部落を中心に 32ha の土地がすべり、当時「亀の瀬地すべり」と呼ばれてニュース面をにぎわした。

この地すべり地域の西側の清水谷地域 (Photo. 1 参照) における地すべりが最近活発化するにおよび、建設省においては、地すべり防止工事を実施することになり、昭和38年度を初年度とする 5 ヵ年計画で総土量 60万m³ の排土が行なわれつつある。筆者らは、この排土工事に関する諸資料を得るため、昭和37年以来当地域一帯で、地質学的・地球物理学的・土木工学的な諸調査を実施してきたが、以下筆者の行なった地球物理学的な調査に関する地震探査・地表面の伸縮や傾斜変化などについて述べる。

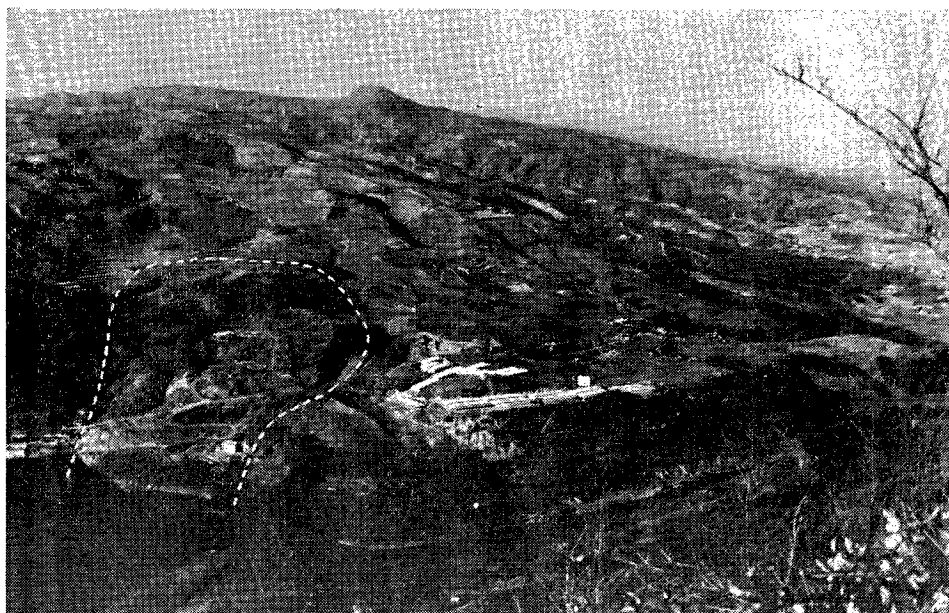


Photo. 1 Distant view of Kamenose Landslide area.

2. 調査の概況

この地域の地質は、基盤をなす花崗片麻岩の上に、第3紀の中新世末期の火山活動の際噴出された熔岩や火山灰から生成されたとされる複輝石安山岩・紫蘇輝石安山岩・礫層・屯鶴峰層等の二上層群が分布しており、その上の最上層部には粘土や砂礫からなる大阪層群がのっている。これらの地層が過去の地すべりのため交錯し、非常に複雑である。

まず、当地すべり地域の地下構造を知るため、Fig. 1 に示す仏生堂から大和川に至るほぼ南北に走るⅠ一測線、これと交るA、B一測線の3測線を選び、昭和38年3月と7月の2回地震探査を行なった。これは乾燥期と湿潤期で地下構造に差が認められるか、どうかを調べるためのものであり、両者の比較が容易であるよう、同一の計器を用い、全く同じ方法で行なった。これらの結果、乾燥期と湿潤期で余り地下構造に差異は認められなかったが、中腹部に破碎帯の存在することが判明した。(Fig. 1, 3 参照) 一方、昭和38年4月Ⅰ一測線に沿って仏生堂より大和川に向って12台の伸縮計を連続して設置し観測を開始したが、5月から7月までの間に、約600mmの降雨があり、各伸縮計は大きい変化を記録した。これらの観測より地表面ひずみの分布を見ると、Fig. 2 のようになり、前記の破碎帯付近を境にして、地すべりは上部と下部の2つに分かれ起っていると推定された。なおまた、ボーリング孔を利用した地中傾斜計による観測と地震探査より得られた地下構造とを比較検討した結果、地すべりを起している層は、地表下約10m位までの弾性波速度0.5km/sの第1層であることがほぼ判明した。以上の結果については第Ⅱ報に記した。

その後、昭和38年10月頃より、亀の瀬地すべり対策排土工事の初年度として、運搬道路の建設を含め、中腹部の排土工事が始められ、工事に支障をきたす伸縮計や傾斜計などの観測計器の1部は撤去された。このようにして、翌昭和39年3月までに中腹部約6万m³の排土が行なわれた。

続いて昭和39年度をむかえ、前述の中腹部で認められた破碎帯がどのように走っているかを調査すると共に、全地域の地下構造の概略を把握するため、同年5月初旬 Fig. 1 に示したⅡ・Ⅲ・Ⅳ・C・D・Eの6測線を選び地震探査を行なった。一方4月下旬より、排土工事のため撤去された伸縮計や傾斜計を再設置す

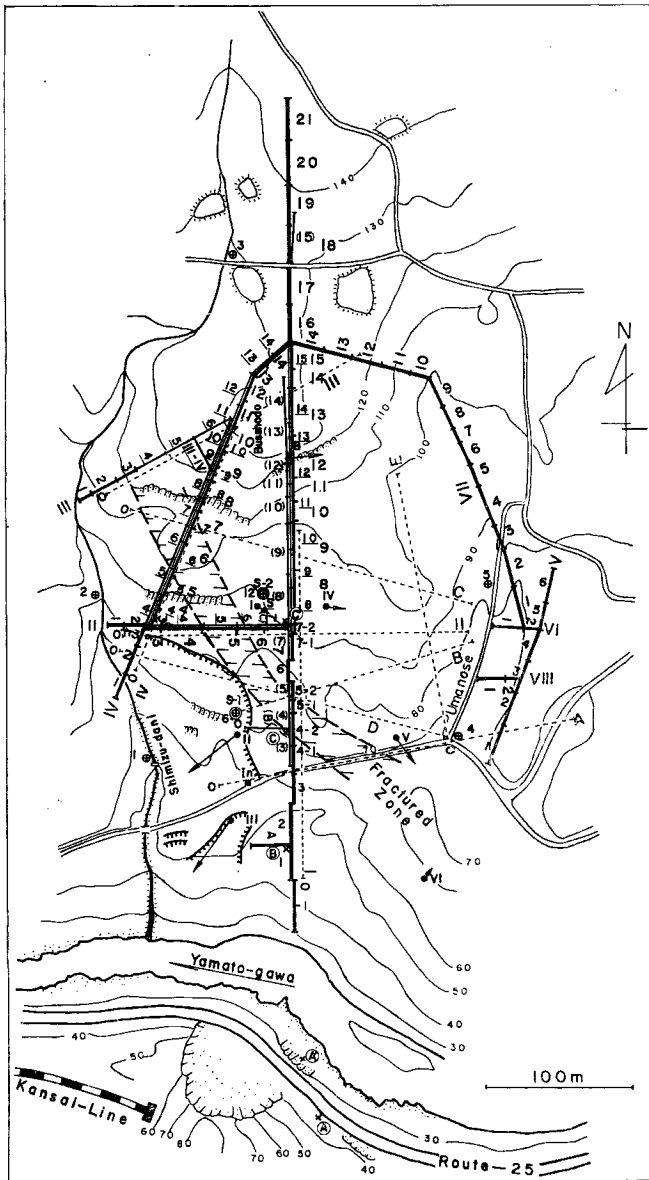


Fig. 1 Disposition and distribution of the instruments and traverse lines of seismic prospecting.

I—1, 1, 2, ……21, II—1, 2, ……7(=c), III—1, 2, ……6, IV—1, 2, ……14, V—1, 2, ……6, VI—1, 2, VII—1, 2, ……14, VIII—1, 2, III—IV, A, B, S:—Extensometer [(), —: old], ×—A, A', B, C, C':—Tiltmeter, ⊕—1, ……5, 6, 12:—Observing well of groundwater level, ●—I, II, ……B:—Travelling post (←:—Direction of the displacement), In:—Portable underground inclinometer, ⊗S-1:—Shaft-No.1, ⊗S-2:—Shaft-No.2, ———:—Traverse line of seismic prospecting, ㄱ:—New crack (1966)

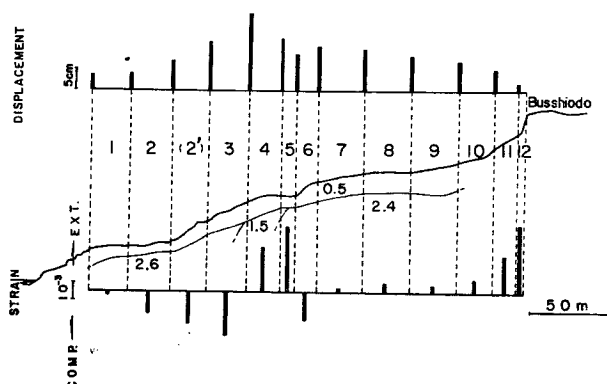


Fig. 2 Geological section along the survey line I for investigation of ground-strain, disposition of the extensometers, variations of the ground-strain and displacement of each block.

1, 2,, 11, 12 : —Extensometer

— : —Variations of the ground-strain and the displacement from April to July (1963)

Each value shows the propagation velocity of P-wave (unit : km/s). Variation of 2' is presumed from variations of 2 and 3.

ると共に、地震探査で地下構造の判明した、測線一Ⅱ・Ⅲ・Ⅳの測線に沿って、新に伸縮計を設置し、i) 地下構造と地表面ひずみの関係を知り、当地域の地すべり機構を究明する、ii) 昨年度の地表面ひずみと比較することにより、排土工事の効果を検討する、またiii) 今年度の排土工事の資料を得るなどの目的で観測を行なった。なお、垂直ひずみの観測のため竪坑一S-2に伸縮計S、排土の隣接地におよぼす影響を知るため馬の背地区に測線一Ⅴ・Ⅵを設けて伸縮計を設置し、合計53台の伸縮計を用い地表面ひずみの観測を実施した。

同年11月頃から、われわれの調査資料をもとに、中腹部より上方仏生堂付近にかけて、第2年度の排土工事が始められ、工事の進行にともない支障をきたす伸縮計が逐次撤去された。この第2年度排土工事は中腹部より仏生堂へ階段状に2つの安定斜面を造るようにして、約12万 m^3 の排土がなされた。

昭和40年度に入り、前年度排土工事のために撤去された伸縮計の再設置と新に仏生堂上部より馬の背に至る測線一Ⅶ・Ⅷを設けた。

しかし、11月頃より始められた第3年度排土工事のために1部計器が撤去された。同年度は仏生堂よりさらに上部にかけて約14万5千 m^3 の排土がなされ、3つの安定斜面が造られた。

本昭和41年度早々に、撤去伸縮計の再設置を行ない観測を始めたが、10月中旬より仏生堂西部清水谷付近の排土工事が始められ、またまた伸縮計の1部の撤去を余儀なくされた。

3. 弾性波探査

昭和38年度に実施したⅠ・Ⅱ・Ⅲの3測線、昭和39年度実施したⅡ・Ⅲ・Ⅳ・Ⅴ・Ⅵ・Ⅶ・Ⅷの計9測線の弾性波探査により得られた地下構造図は Fig. 3 に示すようなものであり、第Ⅱ報で述べたⅠ—測線の中腹部で認められた破碎帯はこれより北西に走り、Fig. 1 に示したように、この地すべり地域を2分している。

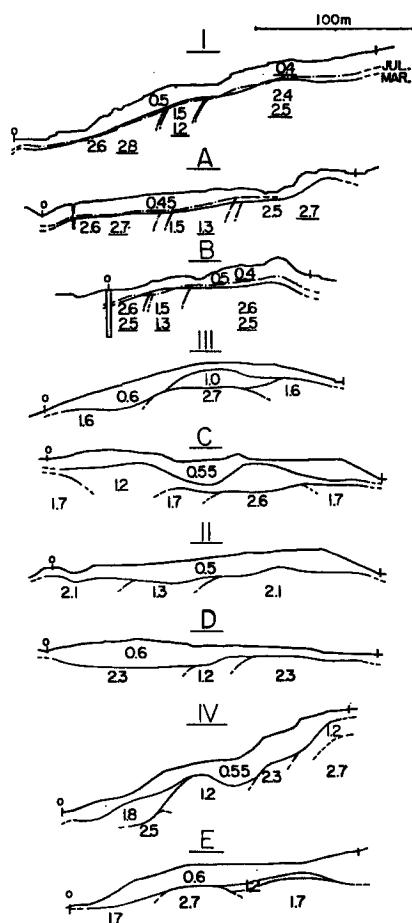


Fig. 3 Crustal structure obtained by seismic prospecting. (Each value shows the propagation velocity of P-wave and value with under line shows it in July.)

4. 伸縮計で観測された地表面ひずみ

当地すべり地および隣接する馬の背地区に設置されている伸縮計は年とともに増加し、現在では8測線74台におよんでいるが、これらの配置図は前掲の Fig. 1 に示した。なお、これらの各測線の断面と計器配置の推移は Fig. 4 に示した。また、これらの計器により観測された結果を Fig. 5 に示した。これを見ればわかるように毎年度後半は排土工事のために、計器の撤去が行なわれ、長期間の連続観測が行なわれているものは約半数程度である。また数多い観測計器のうち、大きな変化を示しているものは特定の限られたものだけである。しかも変化を示す期間は大体4月頃から7月頃までの多雨期であり、この期間の降雨量の多寡により変化量にも大小がある。すなわち、昭和39年の降雨量の少なかった年の変化量は他の年度に比べて小さくなっている。いま、比較のために、初年度昭和38年の観測開始日4月18日から7月末日までの各年度の降雨量を示すと、昭和38年は698mm、昭和39年は243mm、昭和40年は638mm、本年昭和41年は552mmであり、大体この期間には600mm程度の降雨があるようである。次に大きく変化している伸縮計を含む測線一

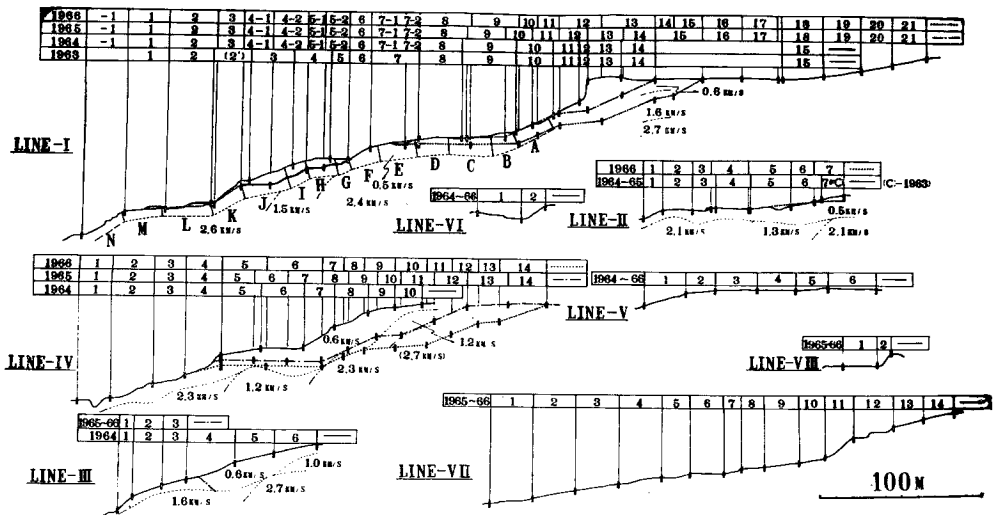


Fig. 4 Geological section along the survey line of ground-strain.

I・IVのうち長期間の連続記録のあるものについて、各観測値の月平均値を求め、これの13カ月の移動平均を求めて、経年変化と年変化を求めてみた。それらの結果を Fig. 6 と Fig. 7 に示した。図中点線で示したものが月平均値の変化であり、実線で示したものが経年変化である。また、この両者の差が年変化となる。これらの結果をみてわかるが、年変化は1～2の例外を除き、何れも周期性が認められ、図の下に示した各月の降雨量の変化と似ており、1～2カ月 phase が遅れている。これらをもとに経年変化の年間平均変化量と年変化の振巾との関係を Table 1 に示した。なお、I—8, …, 12については期間が短いため、これらの資料をもとにして推定したものを記入しておいた。これを見れば、経年変化の大きいものは年変化の振巾も大きくなっており、降雨期に伸び（縮み）の変化を示すものは、経年変化も伸び（縮み）の変化をする。筆者が以前に、四国の或地すべり地において、経年変化が大きい場所では年変化や日変化が大きいことを認めたが、当地すべり地においても同様なことが認められた。従って、前掲の Fig. 2 に昭和38年の4月18日から7月末日までの排土前の地表面ひずみ分布図を示したが、これはこの期間の真の変化量に概算の年変化の振巾を加えた量を比較したと考えてよい。このような観点に立って、毎年5月頃から7月頃までの変化量を比較すれば、大体の地表面のひずみ分布を推定することができる。いま、ひずみ変化量の大きい区間を含む、I・II・IVの3測線について、各年度の4月18日から7月末日までの変化量を求め Table 2 に示した。これを見ればひずみ変化量の大きい場所は各測線とも破砕帯付近、特にその下方部であり、下部地すべり地塊は破砕帯を頭部にしてすべっていることがわかる。また、測線Iにおいては、排土前の昭和38年には、仏生堂付近の12・11の区間のひずみ変化量は大きく、上部地すべり地塊の滑落が活発であったが、排土後はひずみの変化が小さくなっており、地すべり対策工事としての排土が効果を挙げたことを示している。これに反し、下部地すべり地塊の活動は依然として衰えず、経年変化や年変化の振巾からもわかるように、昭和40年秋頃より活発化している。41年の雨期には前掲の Fig. 1 に示したように、破砕帯の下方に、豎坑S—1 から清水谷にかけて馬蹄状に crack が生じ、南西方向清水谷に向って滑落していることが推定された。図中移動杭I・II・……・VIの移動量（昭和35年10月から昭和38年7月まで）を矢印で示したが、この地塊内にあるII・IIIの移動杭の移動方向と全く同じ方向に滑落しているものと考えられる。特に方向が移動の方向とほぼ一致しているIV—測線の1・2・3の伸縮計の変化が大きいのはこのためと思われる。

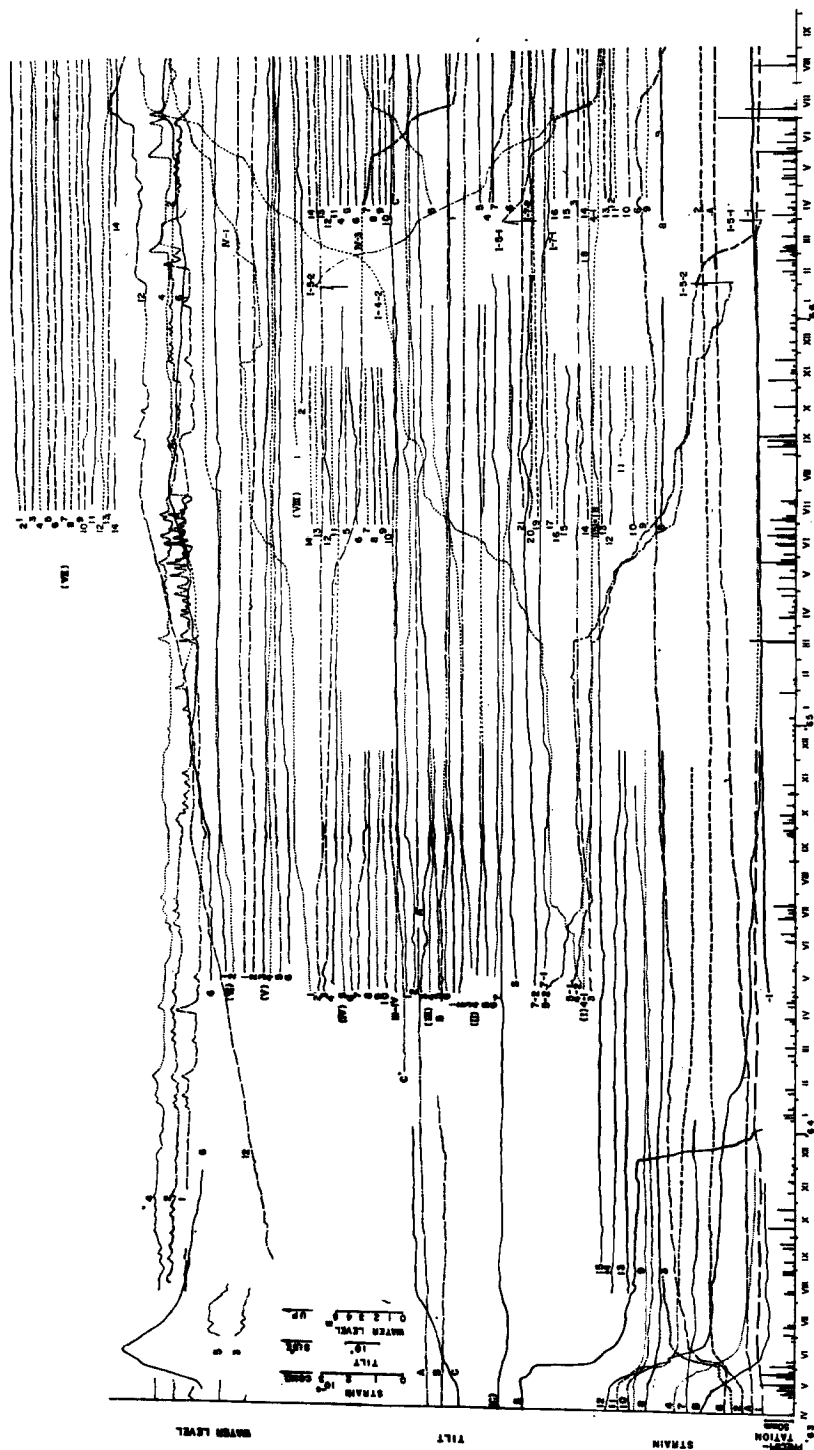


Fig. 5 Variations of the ground-strain, ground-tilt and groundwater level and precipitation.

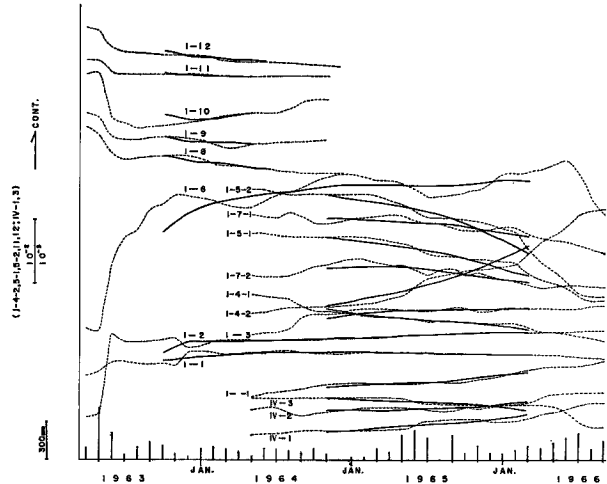


Fig. 6 Variation of the monthly mean values of ground-strain.
..... : —Observed value, — : —Secular variation.

Table 1 Relation between secular variation and annual variation

Extensometer	Secular variation ($\times 10^{-4}/\text{year}$)	Amplitude of annual variation ($\times 10^{-4}$)
I — — 1	0.8	(0.2)
I — 1	0.3	0.1
I — 2	0.9	0.1
I — 3	1.0	0.3
I — 4— 1	1.9	(0.2)
I — 4— 2	61.1	6.2
I — 5— 1	38.2	4.4
I — 5— 2	56.5	5.7
I — 6	1.0	1.0
I — 7— 1	1.7	0.4
I — 7— 2	1.8	0.5
I — 8	0.8	0.2
I — 9	1.6	0.4
I — 10	3.5	0.7
I — 11	7.6	1.0
I — 12	23.0	2.8
IV — 1	19.2	4.0
IV — 2	0.9	0.4
IV — 3	10.7	2.6

Table 2 Ground-strains observed by extensometers (S), values of contraction (C, + : - cont.), values of horizontal contraction (H.C., + : - cont.) and accumulated horizontal displacements (A.H.C., + : - cont.).
(from Apr. 18 to July 31)

LINE-I

		Fractured Zone													
1963	Extensometer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	S ($\times 10^{-3}$)	0.20	1.24	1.88	2.52	-2.64	-3.90	1.63	-0.21	-0.52	-0.42	-0.81	-2.12	-3.94	—
	C mm	4.9	32.0	51.0	70.0	-58.1	-39.0	25.8	-6.1	-1.56	-12.5	-20.1	-38.2	-52.8	—
	H.C. "	4.9	31.8	144.1	63.4	-56.6	-39.0	22.3	-6.0	-1.56	-12.3	-18.4	-33.1	-18.1	—
	A.H.C. "	54.9	50.0	182	-25.9	-89.3	-22.7	16.3	-6.0	-15.6	-27.9	-46.3	-79.4	-97.5	—
1964	Extensometer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	S ($\times 10^{-3}$)	0.01	0.05	-0.01	0.05	-0.02	1.09	0.70	1.42	0.19	0.005	-0.07	0.08	0.05	-0.01
	C mm	0.3	1.2	-0.3	1.0	-0.3	25.6	7.2	21.4	3.0	-0.4	-2.1	2.4	1.2	-0.2
	H.C. "	0.3	1.2	-0.3	0.8	-0.3	23.1	7.2	19.7	2.6	-0.4	-2.1	2.4	1.1	-0.2
	A.H.C. "	-0.2	-1.4	-1.1	-1.9	-1.6	-24.7	-17.5	22	-0.4	-0.4	0	-2.1	0.3	1.4
1965	Extensometer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	S ($\times 10^{-3}$)	0.02	0	0.05	-0.02	-0.06	3.39	-2.19	-2.52	-0.24	-0.14	-0.16	—	—	—
	C mm	0.7	0	1.4	-0.4	-1.1	79.7	-22.7	-37.9	-3.9	-3.0	-1.4	—	—	—
	H.C. "	0.6	0	1.4	-0.3	-1.1	71.9	-22.6	-34.8	-3.4	-3.0	-1.2	—	—	—
	A.H.C. "	6.9	6.9	5.5	5.8	6.9	-65.0	-42.4	-7.6	-4.2	-1.2	0	—	—	—
1966	Extensometer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	S ($\times 10^{-3}$)	0.04	-0.03	0.01	0.03	-0.07	4.59	-2.80	-5.12	-0.51	-0.12	0.05	0.03	-0.03	0.07
	C mm	1.1	-0.9	0.4	0.6	-1.2	107.9	-2.89	-77.0	-8.1	-2.5	0.4	1.0	-1.0	0.9
	H.C. "	0.9	-0.9	0.4	0.5	-1.2	97.5	-2.88	-70.8	-7.9	-2.5	0.4	1.0	-1.0	0.8
	A.H.C. "	-12.6	-11.7	-12.1	-12.5	-11.4	-105.7	-73.9	-9.1	-2.1	0.4	0	1.0	0	0.8

1963	Extensometer								15
	S ($\times 10^{-3}$)								—
	C mm								—
	H.C. "								—
1964	Extensometer								15
	S ($\times 10^{-3}$)								0.04
	C mm								1.0
	H.C. "								1.0
1965	Extensometer	15	16	17	18	19	20	21	
	S ($\times 10^{-3}$)	—	—	—	-0.15	—	—	—	
	C mm	—	—	—	-3.8	—	—	—	
	H.C. "	—	—	—	-3.7	—	—	—	
1966	Extensometer	14	15	16	17	18	19	20	21
	S ($\times 10^{-3}$)	0.07	0.03	0.06	0.01	0.03	0.06	-0.10	-0.02
	C mm	0.7	0.7	1.5	0.2	0.8	1.5	-2.0	-0.4
	H.C. "	0.7	0.6	1.5	0.2	0.8	1.5	-1.9	-0.4
	A.H.C. "	3.8	4.4	5.9	6.1	6.9	8.4	6.5	6.1

LINE-II

		Fractured Zone						
1963	Extensometer	1	2	3	4	5	6	7
	S ($\times 10^{-3}$)	—	—	—	—	—	—	—
	C mm	—	—	—	—	—	—	—
	H.C. "	—	—	—	—	—	—	—
	A.H.C. "	—	—	—	—	—	—	—
1964	Extensometer	1	2	3	4	5	6	7
	S ($\times 10^{-3}$)	0.03	-0.09	0.11	-0.08	0.10	-0.11	-0.09
	C mm	0.4	-1.6	1.6	-1.6	2.5	-2.1	-1.3
	H.C. "	0.3	-1.6	1.6	-1.6	2.4	-2.0	-1.3
	A.H.C. "	-2.2	-2.5	-0.9	-2.5	-0.9	-3.3	-1.3
1965	Extensometer	1	2	3	4	5	6	7
	S ($\times 10^{-3}$)	0.02	0.04	0.64	-0.12	0.12	-0.14	0.01
	C mm	0.3	0.8	9.2	-2.4	2.9	-2.6	0.1
	H.C. "	0.3	0.8	9.1	-2.4	2.9	-2.5	0.1
	A.H.C. "	8.3	8.0	7.2	-1.9	0.5	-2.4	0.1
1966	Extensometer	1	2	3	4	5	6	7
	S ($\times 10^{-3}$)	0.05	0.01	2.26	-0.70	0.05	-0.04	0
	C mm	0.6	0.2	24.9	-6.8	1.1	-0.6	0
	H.C. "	0.5	0.2	24.7	-6.8	1.1	-0.6	0
	A.H.C. "	9.1	8.6	8.4	-16.3	0.5	0.6	0

LINE-IV

		Fractured Zone									
1964	Extensometer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	S ($\times 10^{-3}$)	0.28	0.06	-0.12	-0.03	0.09	0.10	-0.05	0.01	0.04	0.03
	C mm	5.6	1.6	-2.3	-0.7	2.1	2.5	-1.1	0.2	0.7	0.5
	H.C. "	5.5	1.5	-2.2	-0.6	1.9	2.5	-0.9	0.2	0.6	0.5
	A.H.C. "	0	5.5	7.0	4.8	4.2	6.1	8.6	7.7	7.9	8.5
1965	Extensometer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	S ($\times 10^{-3}$)	1.49	-0.03	-1.00	—	—	—	—	—	—	—
	C mm	29.5	-0.7	-19.1	—	—	—	—	—	—	—
	H.C. "	29.4	-0.7	-18.3	—	—	—	—	—	—	—
	A.H.C. "	0	29.4	28.7	10.4	—	—	—	—	—	—
1966	Extensometer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	S ($\times 10^{-3}$)	1.53	0.08	-3.36	-0.02	0.02	0.16	-0.12	0.03	0.03	-0.02
	C mm	30.4	2.1	-64.2	-0.4	0.5	5.1	-1.5	0.4	0.6	-0.4
	H.C. "	30.2	2.0	-61.4	-0.4	0.5	5.1	-1.3	0.4	0.6	-0.4
	A.H.C. "	0	30.2	32.2	-29.2	-29.6	-29.1	-24.0	-25.3	-24.9	-24.3

次に地塊の滑落について簡単な仮定のもとに考察してみた。すなわち、重さ W の土塊が水平面と α の角度をなす斜面に沿って滑落しようとする力(T)は、 $T=W \cdot \sin \alpha$ 、この滑落に抵抗する最大の剪断抵抗力(F)は、土の内部摩擦角を ϕ 、粘着力を C とすれば、 $F=W \cdot \cos \alpha \cdot \tan \phi + C$ であると考え、 $T > F$ の場合に滑落が起るとし、測線—Iに沿って、地すべり層を適当な小ブロックに分割し、各ブロック毎に $F-T$ の値を計算した。地すべり層は前にも述べたように、弾性波速度 0.5km/s の第1層であることが大体わかっているから、Fig. 4 に示したように第1層を第1層と第2層の境界面の傾斜角がほぼ一定と見做されるA～Nの小ブロックに分割することとした。また、 ϕ や C については、かつて梶川氏が当地すべり地の土を採取し

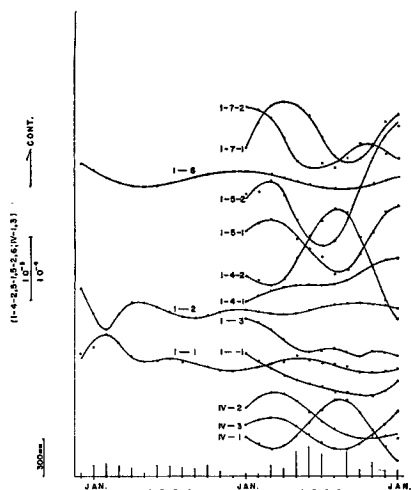


Fig. 7 Averaged annual variations of the ground-strain.

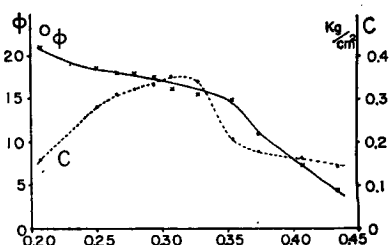


Fig. 8 Relation between internal frictional angle (ϕ) and water content of soil and relation between cohesion (C) and water content of soil. (after G. KAJIKAWA)

て、含水比と $\phi \cdot C$ の関係を求め、Fig. 8のような図を得ている。従ってこれらの数値を用い、 $F-T$ の値を含水比0.20～0.45の場合について、各年度毎に算出し Table 3 に示した。数値は測線に沿った巾 1cmのブロックに働く力を ton で示したものである。ここで負符号のついたものは滑落力の大きいことを示している。また或ブロックにおいて $T > F$ となった場合は、これの下方隣接ブロックの基盤面方向の成分が下方ブロックに伝達するものとして、上部より下部に逐次累加していった。従って、下方にブロックが無い場合の安定度を示すものであり、正数値のブロックは安定であることを示し、隣接下方ブロックの数値が大であることは、下方ブロックは上部ブロックより安定であり、負の値をもつ上・下ブロックにおいて、下方のブロックの値が大なときは、上部ブロックの滑落を阻止しながら滑落することを意味している。このようなことを考慮して表を見れば、伸縮計の変化も或程度諒解することができる。まず、含水比が40%以上になると各ブロックは滑落するが、Fブロックは40%になっても正の値をもち上部ブロックの滑落を阻止している。これは後述するが、排土による小規模地すべり発生の際にFとGのブロックの境に crack が生じたことでもわかるように安定したブロックであると考えられる。しかも、C・D・Eブロックは昭和40年度になって、含水比が40%になってもFブロックと同様正の値を示すようになったが、これは排土工事のためブロックの重量 W が減少したためである。一方G・H・Iのブロックについて見るならば、他に比して、滑落力が小さいにもかかわらず、ひずみ変化量が大い。これは、この表の計算が地下構造より、第1層と第2層の境界面の傾斜をもとにして算出したものであり、上部地すべり地塊の滑落については、一応これで説明されるが、下部地すべり地塊、特に破砕帯付近では異なったひずみ分布がみられ、境界面の傾斜以外に破

Table 3 Sliding forces of divided soil blockes with the change of water content (unit:—ton) and ground-strain. (from Apr. 18 to July 31)

Year	Block	N	M	L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A
1963	0.20	-0.12	0.76	2.19	-0.44	1.20	-0.66	0.95	-0.07	1.42	1.56	1.52	2.95	0.51	0.21
	0.25	0.05	0.88	2.49	-0.45	1.20	-0.70	1.01	-0.02	1.50	1.60	1.57	3.04	0.56	0.24
	0.30	0.09	0.78	2.59	-0.41	0.73	-0.85	0.87	-0.04	1.46	1.51	1.49	2.99	0.42	0.17
	0.35	-0.24	0.52	1.58	-0.91	-0.04	-1.27	0.36	-0.26	1.07	1.05	1.12	2.26	-0.38	-0.22
	0.40	-0.66	-1.28	-2.23	-4.16	-2.64	-2.65	-0.49	-0.43	0.09	-0.15	-0.20	-0.45	-2.22	-1.46
	0.45	-9.24	-6.71	-7.42	-9.47	-7.73	-7.19	-4.68	-4.15	-3.48	-3.22	-2.59	-2.32	-3.65	-1.46
Extensometer		1	2	(2)	3	4	5	6	7	8	9	10			
Strain (10 ⁻⁴)		2.0	12.4	18.8	25.2	-26.4	-39.0	16.3	-2.1	-5.2	-4.2	-6.1			
1964	0.20	-0.12	0.76	2.23	-0.52	0.86	-0.25	0.60	-0.04	1.42	1.56	1.52	2.95	0.51	0.21
	0.25	0.05	0.88	2.56	-0.42	1.17	-0.14	0.76	0.29	1.50	1.60	1.57	3.04	0.56	0.24
	0.30	0.09	0.88	2.62	-0.47	1.18	-0.16	0.78	0.04	1.46	1.51	1.49	2.99	0.42	0.17
	0.35	-0.24	0.52	1.64	-0.92	0.43	-0.47	0.33	-0.16	1.07	1.05	1.12	2.26	-0.38	-0.22
	0.40	-1.66	-1.04	-0.86	-2.62	-1.01	-1.20	-0.24	-0.27	0.09	-0.15	-0.20	-0.45	-2.22	-1.46
	0.45	-6.05	-5.37	-5.01	-7.04	-5.20	-5.17	-4.08	-3.95	-3.48	-3.22	-2.59	-2.32	-3.65	-1.46
Extensometer		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
Strain (10 ⁻⁴)		-0.1	0.5	-0.1	0.5	-0.2	10.9	-7.0	-1.2	19.8	0	-0.5	-0.7	0.8	0.5
1965	0.20	-0.12	0.76	2.23	-0.52	0.86	-0.25	0.60	-0.04	1.42	1.43	1.49	2.95	0.49	0.09
	0.25	0.05	0.88	2.56	-0.42	1.17	-0.14	0.76	0.29	1.40	1.50	1.54	3.04	0.58	0.24
	0.30	0.09	0.88	2.62	-0.47	1.18	-0.16	0.78	0.04	1.46	1.43	1.47	2.99	0.49	0.17
	0.35	-0.24	0.52	1.64	-0.92	0.43	-0.47	0.33	-0.16	1.07	1.00	1.07	2.34	-0.28	-0.22
	0.40	-1.66	-1.04	-0.86	-2.62	-1.01	-1.20	-0.24	-0.27	0.23	-0.10	-0.14	-0.37	-2.14	-0.98
	0.45	-3.50	-4.80	-4.43	-6.36	-4.47	-4.39	-3.26	-3.11	-2.59	-2.79	-2.25	-1.99	-3.27	-1.45
Extensometer		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
Strain (10 ⁻⁴)		0.2	0.5	0.5	2	-0.6	33.9	-2.9	-2.2	-2.4	-1.4	-1.6			
1966	0.20	-0.12	0.76	2.23	-0.52	0.86	-0.25	0.60	-0.04	1.42	1.37	1.35	2.27	0.42	0.22
	0.25	0.05	0.88	2.56	-0.42	1.17	-0.14	0.76	0.29	1.50	1.45	1.54	2.41	0.71	0.45
	0.30	0.09	0.88	2.62	-0.47	1.18	-0.16	0.78	0.04	1.46	1.39	1.31	2.42	0.65	0.54
	0.35	-0.24	0.52	1.64	-0.92	0.43	-0.47	0.33	-0.16	1.07	0.97	0.95	2.03	0.18	0.26
	0.40	-1.66	-1.04	-0.86	-2.62	-1.01	-1.20	-0.24	-0.27	0.23	0.05	0.23	1.28	-0.54	0.03
	0.45	-4.63	-3.89	-3.49	-5.27	-3.33	-3.19	-2.00	-1.80	-1.21	-0.94	-0.44	-0.17	-1.09	-0.11
Extensometer		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
Strain (10 ⁻⁴)		0.4	-0.3	0.1	0.3	-0.7	45.9	-28.0	-51.2	-5.1	-1.2	0.5	0.3	-0.3	0.7

Fractured Zone

砕帯が大きな影響を与えているものと考えなければならぬ。従って、本地域の地すべり機構、特に下部地すべり地塊の滑動を究明するためには、破砕帯の性質を明らかにする必要があると思う。

5. 排土に伴う小区域地すべり発生前後の地表面ひずみ

昭和38年秋、初年度排土工事を行なうに当たり、運搬道路を建設する必要があり、竪坑の下方部を横に通っている市道を拡幅しなければならなかった。しかし、Fig. 1にも見られるように、そのためには、市道上部の斜面を掘削しなければならず、前掲 Fig. 2 に示した断面図における、伸縮計—3 付近が掘削の対象となった。しかし、この付近は測線—I のひずみ分布から見て、縮みの部分であり、上部破砕帯（当時は弾性波探査も I・A・B の 3 測線を終っただけで、破砕帯の分布については知られておらず、ただ低速度層の存在が認められていた。）より下方のすべりを阻止している部分であるため、地すべりを誘発させる危険が事前に予想された。当時伸縮計—6 付近において上部地塊の滑落を一応阻止していると考えられてはいたが、これが原因で上部地塊の滑落をも誘起させることにでもなれば一大事であり、工事前に十分な検討が加えられた。その結果、ひずみの分布から考えても、また前述のブロック分割による滑落力の推定 (Table 3) から考えても、伸縮計—6 付近 (F ブロック) は安定しており、たとえ破砕帯付近が滑落しても F ブロックは充分上部地すべり地塊の滑落を阻止し得るとの結論に達した。従って、市道より破砕帯までの距離は僅かであり、道路幅を充分にとり、滑落土砂をここに溜め、これより下方への土砂の滑落を皆無にするとの方針で、9 月中旬より Photo. 2 のように竪坑 S—1 下方部斜面の掘削が、充分な警戒のもとに開始された。このようにして11月上旬まで、道路に沿って東方に向かって拡幅工事が進められ、この付近で約 5000m³ の排土がなされた。その間に Photo. 3 に示したような crack が竪坑 S—1 の上部に発生した。これは翌昭和39年の弾性波探査で発見された破砕帯に沿って生じたものであるが、心配される程のこともなかった。その後、12月15日より当時深さ 30m であった竪坑 S—1 を更に 15m 掘り下げる作業が竪坑の底で始められた。当日は何の異常もなく過ぎ、翌16日になり、竪坑の底で作業中、無気味な地鳴りが聞えたので、地すべりが起るのではないかと心配し、作業を中止し警戒にあたったが、付近の地表面には何ら異常は認められなかった。しかし、翌日の17日になり、Fig. 9, Photo. 4 (a) に示したように、伸縮計—6 と 5 (ブロック

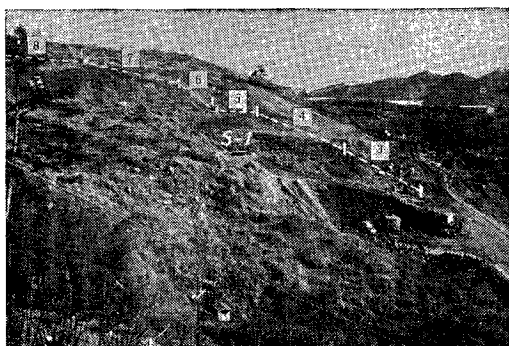


Photo. 2 Removal works of soil mass.



Photo. 3 Crack occurred in the neighbourhood of Shaft 1.

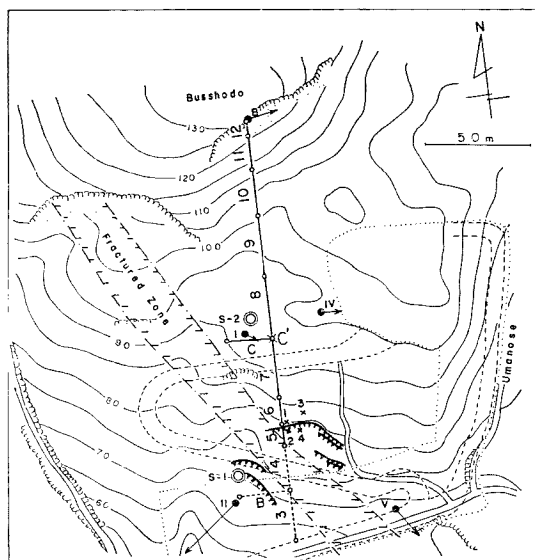
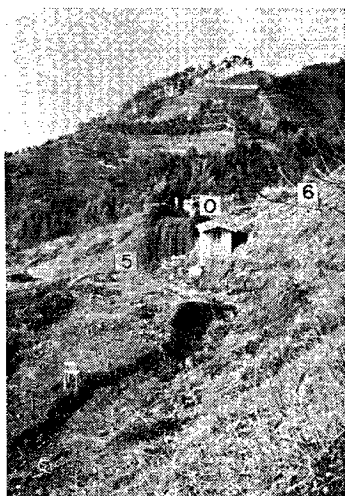
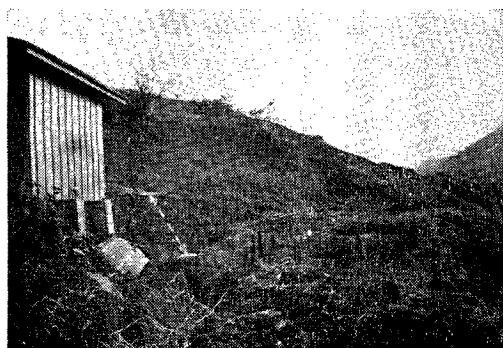


Fig. 9 Topographical map in the neighbourhood of fractured zone.

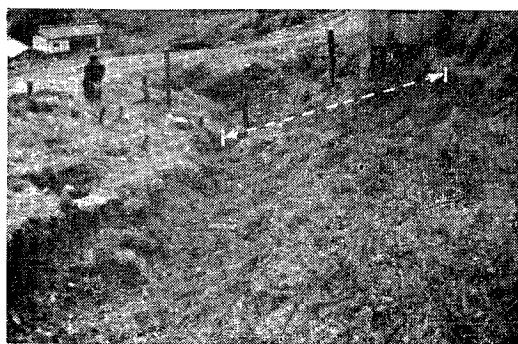
3, 4,, 11, 12, B, C : — Extensometer, C' : — Tiltmeter,
 ⊙ — I, II, IV, V, B, × — 1, 2, 3, 4 : — Travelling post, → : — Direction
 of the displacement, ⊕ — S-1 : — Shaft 1, ⊕ — S-2 : — Shaft 2,
 ㄣ : — Crack, [] : — Area of the removal of soil mass,
 - - - : — Transporting road



(a)



(b)



(c)

Photo. 4 Crack occurred in the neighbourhood of extensometers 5 and 6 (On the boundary between the compressive zone and tensile zone).

O : —Observing hut, 5 : —Extensometer I-5, 6 : —Extensometer I-6

FとG)の境界, すなわち縮部と伸部の境界に破砕帯に沿って crack が認められた。早速 crack を隔て 1・2・3・4の移動観測杭を設けて, crack の間隙の変化を観測すると共に, 下方部の運搬道路建設のために撤去されていた伸縮計—1・2の再設置を急いだ。その後, 一時小康状態が続き, crack 間隙には目立った変化はなかったが, 年が明けて12日に間隙は急に大きくなり出し, 5日間に約 3m も開いた。また1月25日頃からも開きが目立ち, 3日間に約 1mの増加が認められ, 12月17日 crack の発生以来水平に約 4.5m, 上下に約 2m の開きが生じた。

Photo. 4 (b) (c) はその当時撮影したものである。Fig. 10 にこの地すべりの発生の前後に付近の伸縮計や傾斜計で観測された結果および crack 発生後設置された移動杭1—2, 3—4間の距離の変化を示した。伸縮計—5は crack を直角に横切っており, crack 発生の過程がよく現れている。すなわち crack 発生前約 10 日頃より急に伸びており, (この伸びが全部 crack によるものとすれば約

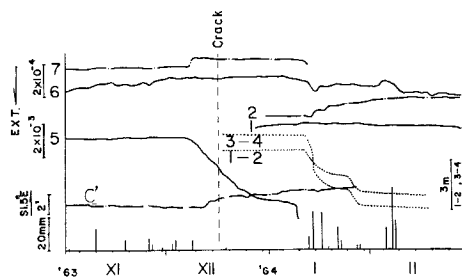


Fig. 10 Variations of ground-strain and ground-tilt before and after the crack occurrence and the precipitation.

1, 2, 5, 6, 7 : —Ground-strain, C' : —Tiltmeter,
1-2 : —Distance between Post 1 and Post 2,
3-4 : —Distance between Post 3 and Post 4

2cm 伸びて crack が生じた事になる。) crack 発生後も伸びは続いているが, 年末にはその変化速度は減少している。しかし, 1月3日頃より再び変化速度が増し, 1月9日

の急激な伸びにより観測は不能となった。その後12日に大きく伸びたことは前にも述べた通りである。また crack より上方部の縮部にある伸縮計一6は12月7日頃までは、僅かずつ縮んでいたが、その後変化は止り1月5日頃からは逆に少しずつ伸びている。伸縮計一6の上方にある伸縮計一7は12月7日頃に急激な縮みを示し、1月12日頃から伸びの傾向が見られるが、以後排土工事の都合上撤去された。一方7の近くに設置されている水平振子型傾斜計の変化を見ると、12月13日頃より急にその変化が大きくなり、土地が下方の大和川方向に傾斜し出したことを示している。その他下方に設置されていた伸縮計4・……・1は排土工事の関係上撤去されており、その推移を知ることはできないが、crack 発生後再設置された1・2の伸縮計の変化を見ると1月12日の大きく変化した際に変化が認められており、1月12日の変化は大きく、かなり広い範囲にその影響が現われている。このように、地すべりの発生に際しては、以前より付近地表面に変形が起っており、或極限に達して、破壊が起り、crack が生じると考えられるから、常時地表面の変形を注意深く観測しておれば、その前兆現象を捉えることができ、地すべりの発生を予知することができるものと考えられる。前述したように、着工前に予想した通り、地すべりは縮部と伸部の境界を頭部にして発生し、上部地すべり地塊の滑落を誘発せずに終り、着工前になされていた調査結果が役立ち、効を奏したものと考えられる。

6. 謝 辞

最後に、本研究の機会を与えられ、御協力をいただいた建設省大和工事々務所の河野・生瀬・高篠の三所長を始め当路の方々に深甚なる謝意を表すると共に、終始御指導と御鞭撻を賜った佐々憲三大阪工業大学々長に厚く御礼を申し上げます。

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) 高田理夫：地すべり地における土地ひずみの観測（第2報），京大防災研究所年報，第7号，昭39
- 3) Takada M.: On the Ground Deformation and Phenomena Forerunning Natural Disasters (Earthquake, Rock-falling and Landslide), Bulletin, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Vol.15, Part 3 (1965)
- 4) 近畿地方建設局編：大和川筋亀ノ瀬地に調査報告論文集
- 5) 近畿地方建設局大和工事々務所編：亀の瀬地すべり調査報告書，昭38
- 6) 近畿地方建設局大和工事々務所編：亀の瀬地すべり調査報告書（その2），昭40
- 7) 近畿地方建設局大和工事々務所：亀の瀬地すべりに関する諸調査資料