

破碎帯地すべり地の地中内部歪計観測の2・3の問題について

古谷尊彦・湊元豪己・小西利史

SOME PROBLEMS OF THE INTERNAL STRAIN METER SURVEY OF THE SHATTERED ZONE TYPE LANDSLIDE AREAS

By Takahiko FURUYA, Hidemi TSUMOTO and Toshifumi KONISHI

Synopsis

Many data of the internal strain meter of the shattered zone type landslide areas are collected, and availability of these data studied from the testimonys of laboratory works, geological phenomena and slope displacement.

The writers are pointed out some problems of the internal strain meter survey. They are the hard questions of the charge of the space between bore hole and internal strain meter, and stationing intervals of strain gauges, and discordance between the shape of pipe and the pillar-shaped graph of accumulated strain, and etc.

1. は じ め に

最近の地すべりの研究では、地すべり面の判定や地すべり機構を論ずるのに、地中内部歪計（パイプ歪計）を利用することが不可欠となっている。これまで、主として第三紀層地すべり地で利用され、地すべり面の判定や地すべり地の地中内部の変動状況が論じられてきた^{1), 2), 3)}。

筆者らは、ここ数年四国地方の破碎帯地すべり地の調査研究に従事しているが、最近破碎帯地すべり地でも地中内部歪計が利用されるようになり、この種の資料を収集する機会が多くなった。それらの資料を検討すると、地質的・地形的に常識では考えられない部分に大きな歪量が検出され、しばしば地すべり面の判定

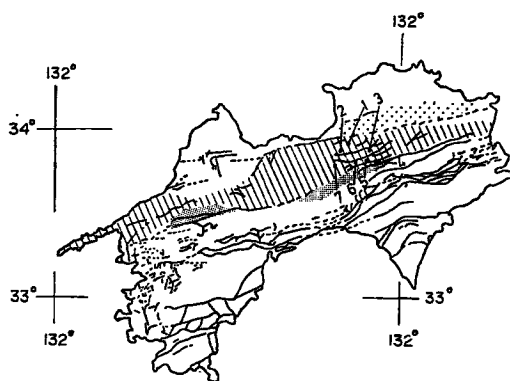


Fig. 1 Index map

- 1: Kuraishi landslide area, 2: Shirakawa landslide area, 3: Ōto landslide area,
4: Kuki landslide area, 5: Kyōjō landslide area, 6: Zentoku landslide area,
7: Tairashimo landslide area

に苦しむ場合がある。

ここではいくつかの破砕帯地すべり地で観測して得られた資料について検討した結果を報告し、破砕帯地すべり地で地中内部歪計を用いて得た資料の問題について述べる。また、地中内部歪計の解析法の 1・2 の問題についてふれる。大方の御教示を得たい。

2. 地中内部歪計の解析法について

通常、地中内部歪計は、硬質塩化ビニールパイプの表面にポリエステルストレインゲージ、あるいはペーパーストレインゲージを一定間隔に糊付し、防湿・防水処理を施し、ボーリング孔に埋設する。観測は、地表に導びいたリード線を通じて地すべり変動によるパイプの変形に伴った歪量を測定し、測定された資料を累積歪柱状図と歪量経日変化図に整理して、これにより地すべり面や地すべり機構の解析がなされる。

これまで用いられてきた地中内部歪計の解析法は、一般に山口ほか (1968, 1969)^{4, 5)} に基づいている。この要点は次のようである。1) 地すべり面の判定基準は、温度変化による歪量変動が 10^{-4} 程度であるから、 10^{-3} 以上の発散性傾向をもつ歪量であること。2) 最も深い位置の歪量から上位に順次積算して描いた 1 つの累積歪柱状図は、その時点のパイプの変形をほぼ表現していると考えられ、地すべり面となりうる深さは、歪量の増加している部分とされる。

また、地中内部歪計設置の際の注意点として、次のようなことが挙げられる。1) ボーリング孔を利用するため、地中内部歪計とボーリング孔壁との間の空隙に土砂を充填し、地中内部歪計と地層とを均等に接触させ、地中内部歪計が地すべりによる運動を正確に受けるようにする。このため、観測は経験的に設置したのち一週間程度放置してから開始する。2) 観測開始当初の大きな歪量変動値で地すべり面を決定することはさける。3) 設置時の断線をなるべく少なくする。4) ゲージ間隔はボーリング孔中に多くの電線を入れる必要から、技術的に 2 m 置き程度になる。

このような方法で設置され、解析されているが、しかし、いくつかの問題はある。例えば、累積歪柱状図がその時点のパイプの変形をほぼ表現していると考えられているが、室内で行なった地中内部歪計 (パイプ歪計) の変形実験は、パイプの変形と累積歪柱状図の形態とは必ずしも一致しない (Fig. 2, 3)。

また、ゲージ間隔が 2 m おきとした場合、ゲージ間の歪状況は上下の測定値の平均として考えられているので、誤差の入る危険性があり、ゲージ間にパイプの変形があっても歪量を検出しえない場合も考えられる。

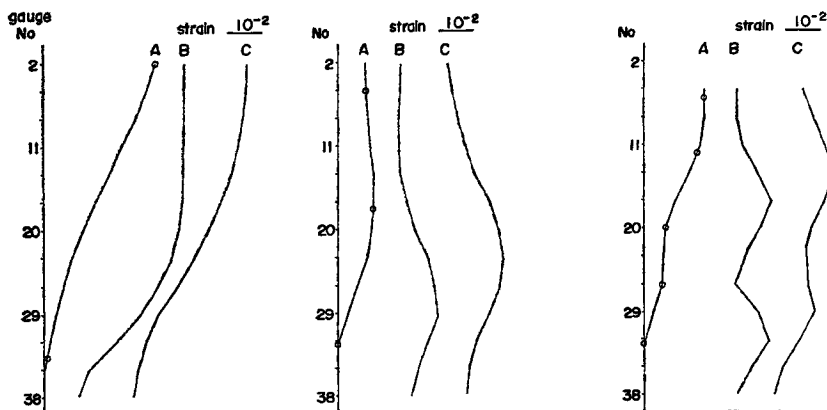


Fig. 2 Relationship between the internal strain meter and the pillar-shaped graph of accumulated strain.

A: shape of internal strain meter, B: pillar-shaped graph of accumulated strain, C: corrected pillar-shaped graph of accumulated strain.

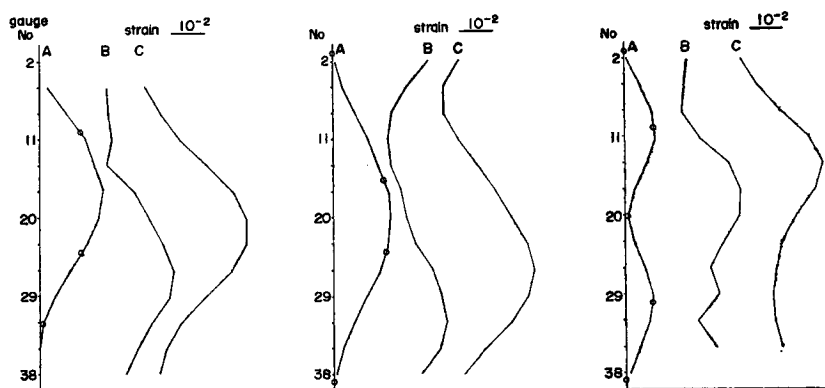


Fig. 3 Relationship between the internal strain meter and the pillar-shaped graph of accumulated strain.

A: shape of internal strain meter, B: pillar-shaped graph of accumulated strain, C: corrected pillar-shaped graph of accumulated strain.

パイプの形状と累積歪柱状図の関係について、最近、山口 (1971)⁶⁾ によって数学的に考察され、モデル実験の結果を用いて補正値を算出し、実際のパイプの変形に、より近い累積歪柱状図の形を作成する方法が提案されている。しかし、補正してもなおかつ実際のパイプの形状とは完全に一致しない部分がある（Fig. 2, 3）。一方、地中内部歪計設置の際のゲージ間隔については、中村ほか (1969)⁷⁾ によって、猿俣養寺地すべり地の例で述べられており、この例では、地すべり面は約 1 m 程度の誤差が考えられ、2 m 間隔のゲージ配置では地すべり面の位置判定がされえない場合もありうるということが述べられている。

このように、従来の地中内部歪計は完全なものでなく種々の問題が残されている。埋設された地中内部歪計が正常に作動しているかどうか、その点検や修理もできない、などのいくつかの欠点を補うため、高田ほか (1971)⁸⁾、島ほか (1973)⁹⁾ によって新しい測定技術が考案され、開発されつつある。今後が注目されるところである。

3. 破碎帯地すべり地の地中内部歪計による観測例について

2 で述べたように、今日使用されている地中内部歪計とその解析法は種々問題があるが地すべり面判定に発散性傾向を示す 10^{-3} 以上の歪量が検出されることに関しては、現状では問題はないようである。このことをふまえて、破碎帯地すべり地で得られた地中内部歪計の資料を使って地すべり面の判定を行なった。しかし、それでもなお、破碎帯地すべり地で得られた資料はいくつかの疑問点が残される。以下に調査事例を挙げ疑問点について述べる。

1) 地すべり地の一般的特徴

扱った資料は Table 1 に示した地すべり地である。これらの地すべり地は三波川結晶片岩類地域の地すべり地で、いずれも泥質片岩・砂質片岩・塩基性片岩などの基盤岩類と、これを被覆している基盤岩から由来した第四紀の未固結の岩屑性堆積物とから構成されている。岩屑性堆積物は主として過去に生じた落石・山崩れ・地すべりなどによって生産された堆積物である。

一方、破碎帯地すべりの運動形態は、地中内部歪計等によって知りたいわけであるが、これまで経験的・定性的に小出 (1955)¹⁰⁾ によって、1) 地すべり性崩壊と 2) 継続型の地すべりとが考えられている。後者の継続型地すべり地は、さらに活動地すべり地と潜在性地すべり地とがある。Table 1 に示された地すべり地は、この後者の継続型地すべり地に分類され、白川・平下地すべり地をのぞけば、いずれも地すべり地内の

Table 1. Relationship between geology and measured strain values.

地すべり地	地中内部歪計 No.	観測期間 (年月日)	歪量検出深度 (m)	歪量の最大変動量 ($\times 10^{-4}$) (○印は発散性傾向を有する)	歪量のばらつき 変動の最大値 ($\times 10^{-4}$)	地質 (基盤岩深度 m)
倉石	1	1970. 8. 5~1970. 11. 4	18 24 32	○ ○ ○	12	泥質片岩基盤岩 (14.0) "
	2	1970. 8. 5~1970. 11. 4	4 14 22 34	○ ○ ○ ○	10 3 3	岩屑性堆積物 泥質片岩基盤岩 (4.5) " "
	5	1970. 8. 5~1970. 11. 4	2 6 28	○ ○ ○	7 2 11	岩屑性堆積物 泥質片岩基盤岩 (6.5)
大藤	3	1970. 8. 7~1972. 11. 12	6 20 28 30 34 38	○ ○ ○ ○ ○	4 5 31 42	岩屑性堆積物 塩基性片岩基盤岩 (15.5) 泥質片岩基盤岩 塩基性片岩基盤岩
	1	1970. 9. 18~1970. 12. 22	4 12	○ ○	5 2	岩屑性堆積物 泥質片岩基盤岩 (10.0)
白川	3	1970. 9. 18~1970. 12. 22	18		9	岩屑性堆積物 (21.5)
	4	1970. 9. 18~1970. 12. 22	2 8 18	○ ○ ○	32 2	" " (21.5)
善徳	2	1970. 10. 21~1971. 1. 16	12	○	11	泥質片岩基盤岩 (10.5)
	3	1970. 10. 21~1971. 1. 16	28		12	" (13.0)
平下	1	1970. 12. 5~1971. 3. 20	2 8 12 16	○ ○ ○ ○	11 13 42 51	岩屑性堆積物 泥質片岩基盤岩 (11.5) " "

京 上	8	1972. 12. 5~1971. 3. 20	8		22	52	岩屑性堆積物	(25. 5)
	9	1970. 12. 5~1971. 3. 20	12		22	33	砂質片岩基盤岩	(4. 7)
	10	1972. 12. 5~1971. 3. 20	4	○	17	17	岩屑性堆積物	(15. 5)
			6	○	-51	87	"	
			20	○	11	8	砂質片岩基盤岩	
			26	○	10	10	"	
	11	1970. 12. 5~1971. 3. 20	34	○	23	25	"	(24. 3)
			44	○	-63	48	"	
			56	○	32	8	"	
	11	1970. 12. 5~1971. 3. 20	2	○	17	21	岩屑性堆積物	(17. 5)
九 鬼	2	1970. 8. 24~1970. 11. 19	4	○	21	21	"	
			8		-11	11	"	
	2	1971. 9. 22~1971. 12. 21	11	○	-22	19	泥質片岩基盤岩	(20. 0)
	4		35		16	5	"	
			37		30	62		(23. 0)
	1	1971. 1. 1~1971. 3. 31	15	○	-10	29	岩屑性堆積物	
			31		-25	2	泥質片岩基盤岩	
	2		2	○	10	7	岩屑性堆積物	(9. 3)
			2	○	22	9	"	
			4	○	34		"	
			6	○	-13		"	
	3		16	○	-16	8	泥質片岩基盤岩	(6. 0)
			26	○	-11	11	"	
			28	○	-21	5	"	
九 鬼			2	○	-10	2	岩屑性堆積物	(6. 0)
			4	○	25	2	"	
			10		-15	11	泥質片岩基盤岩	
			12		22	2	"	
			14	○	18	5	"	(6. 0)
								(6. 0)

どこかでごく最近の地すべり活動跡が認められる。この地すべり活動の痕跡はいずれも上述の岩屑性堆積物の分布範囲内に位置している。

2) 破碎帯地すべり地の歪量の変化について

各地すべり地で観測された資料はおのおの累積歪柱状図と歪量経日変化図に整理し、それから読み取れる 10^{-3} 以上の歪量と、その深度およびボーリング資料から判別される地質を表にしたのが **Table 1** である。同時に歪量のばらつきの最大変動幅を記入してある。

Table 1 に示されるように、 10^{-3} 以上の歪量は総計すると 58 個所で認められ、このうち、岩屑性堆積物中に存在するもの 26 個所、他の 32 個所は三波川結晶片岩類からなる基盤岩中にある。この資料のみから判断すれば、地すべり面の多くは基盤岩中に存在することになる。しかし、1) で述べたように、地すべり活動の痕跡はいずれも岩屑性堆積物の分布範囲内に位置していることから、基盤岩中にも地すべり面が存在すると判断するには説得力に欠ける。

次に、 10^{-3} 以上の歪量が検出されていて、かつ発散性傾向を有するかどうかを検討すると、ほとんどが発散性傾向を有しており、発散性傾向を示さないものは 58 個所中の 11 個所にすぎない。また 10^{-3} 以上の歪量を検出している個々の深さについてみると歪量のばらつき変動の最大値は、倉石・大藤・京上・九鬼の各地すべり地で 1 個所、平下地すべり地で 7 個所が認められ、それぞれ歪量の最大変動と同じ値がそれより大きい値を示している。歪量のばらつき変動の最大値の大きいもののうち、4 個所が岩屑性堆積物中に、7 個所が基盤岩中にある。このように、 10^{-3} 以上の歪量が検出されても、破碎帯地すべり地では歪量のばらつきの幅の中に入っていると考えられることもでき、 10^{-3} 以上という値そのものを基準とすると、地すべり面を判定する場合大きな誤りを犯す可能性が高い。なお、歪量のばらつきの原因は地中内部歪計とボーリング孔との間の空隙が十分に充填されないことによると考えられ、埋設初期のみばかりでなく、場所によっては 3 ケ月以上にわたってさえ、測定値のばらつきが認められている (**Fig. 4~6**)。

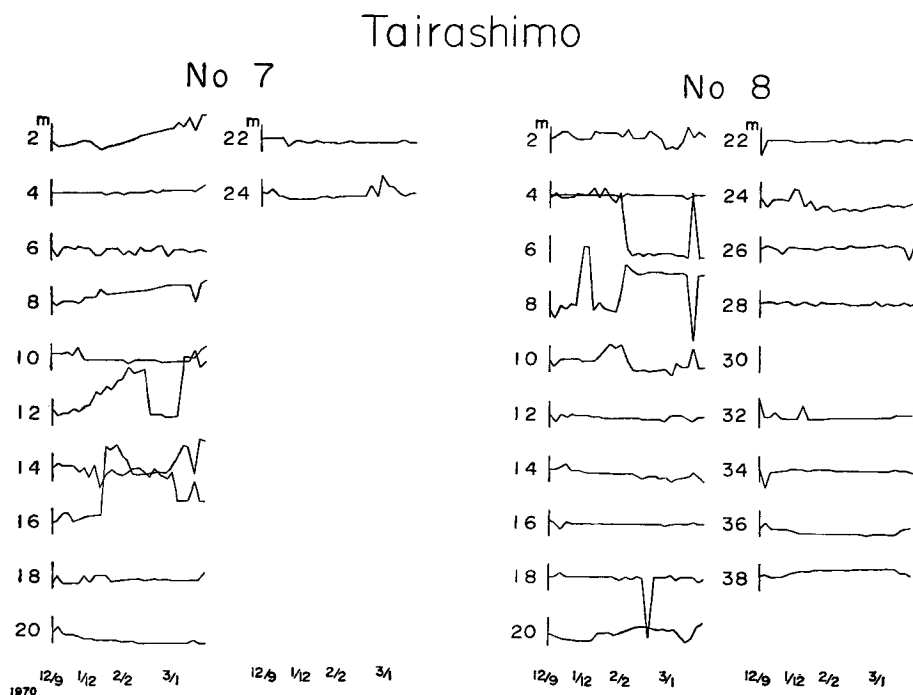


Fig. 4 Daily variations of detected strain values of each depth.

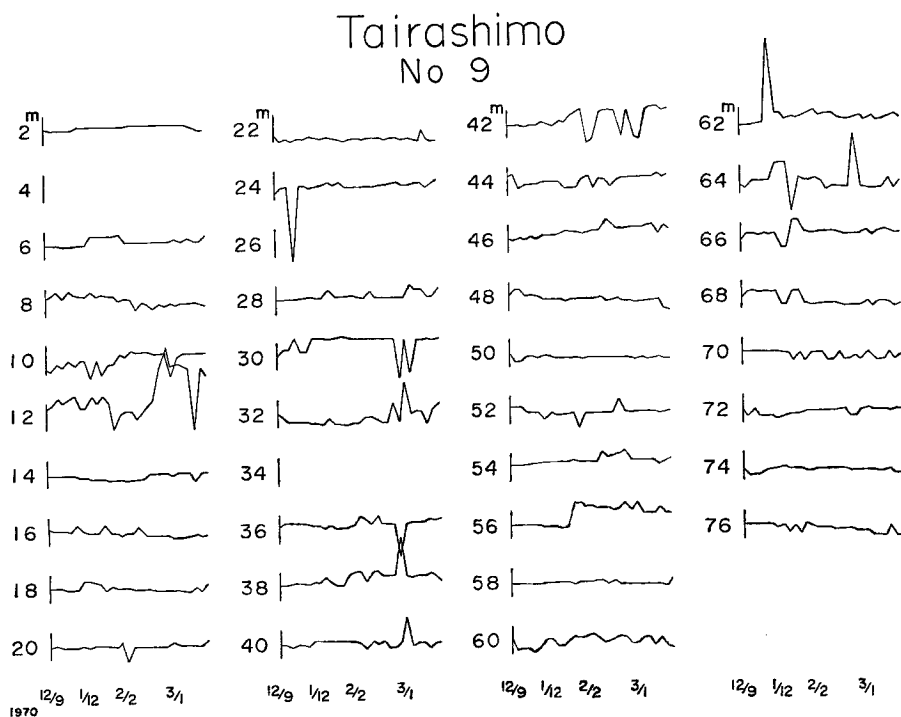


Fig. 5 Daily variations of detected strain values of each depth.

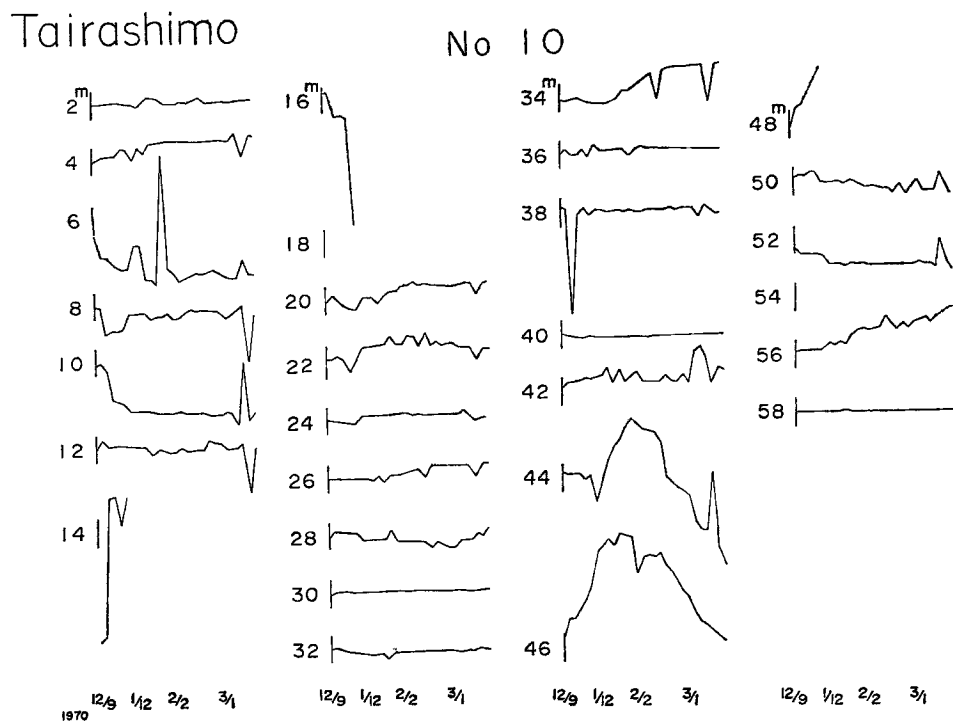


Fig. 6 Daily variations of detected strain values of each depth.

歪量測定値のばらつき変動が非常に少なく、明白な発散性傾向を示し、継続的に歪量を増大させていて、明らかに地すべり面の存在が判断される場合でもなおかつ、地すべり面の存在を判定するのに疑問を残す場合がある。倉石地すべり地の地中内部歪計 No. 5 の深度 28m の歪量変動がこの好例である。

倉石地すべり地地中内部歪計 No. 5 の深度 28m の歪量変動は Fig. 7~9 に示される。地質は深さ 6.5m

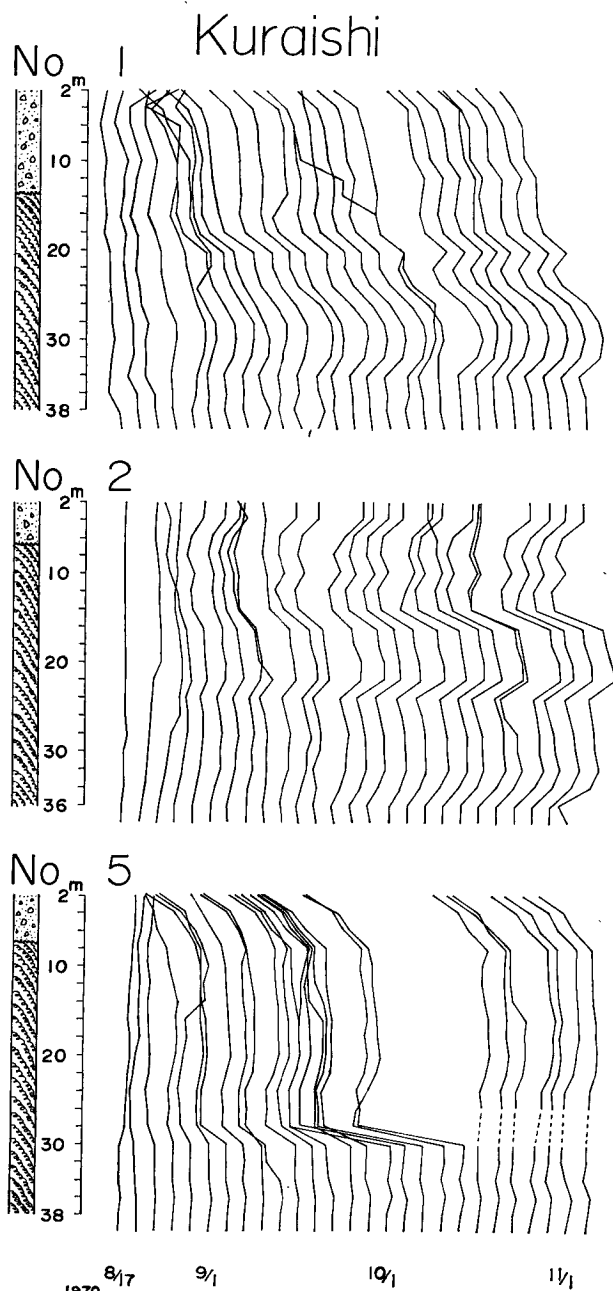


Fig. 7 Pillar-shaped graphs of accumulated strain.

以浅が岩屑性堆積物，以深が泥質片岩の基盤岩である。Fig. 7～9 で明らかなごとく，負方向への発散する歪量の増大が認められ，最大歪量 -6.2×10^{-3} が検出されたのち断線している。この資料からすれば，地すべり面判定にまったく疑問をはさむ余地はない。しかし，この地すべり地における地すべり変動は Fig. 10 に示される範囲であり，変動様式は岩屑性堆積物からなる土塊が小部分に分かれ，匍い下るような形式として知られている¹¹⁾。

地中内部歪計 No. 5 は井ノ内谷川の現河床より比高約30mの位置にある。地すべり変動を起した部分は Fig. 10 の点線の道路より数m下方までであり，地すべり末端は河床より約3m高い位置の水田の面にまでは達していない。また，水田の面にはまったく土地変動が認められていない。1969年に Fig. 10 の点線の道路に沿って，深さ15m，2m間隔に24本の杭を千鳥に打ち，この上に高さ3mの杵工を施した結果，地すべり活動はほとんど抑止された。ここではボーリング調査の結果岩屑性堆積物の厚さは12m前後である。これらの事実から，深さ28mの位置の地すべり面は考えがたく，明らかに発散性傾向を示し，かつ 10^{-3} 以上の歪量が検出されてもおお，地すべり面判定に疑問が残されている。

このように，上記した事実はいずれも基盤岩中で検出された歪量について，地すべり面判定を行なうのには多くの問題が残されている。

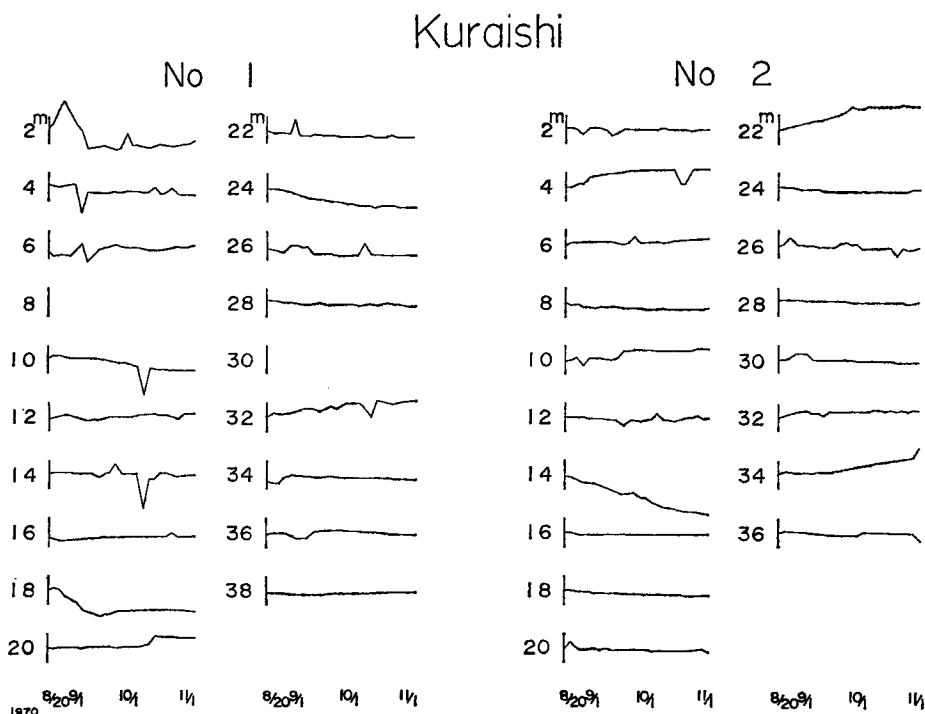


Fig. 8 Daily variations of detected strain values of each depth.

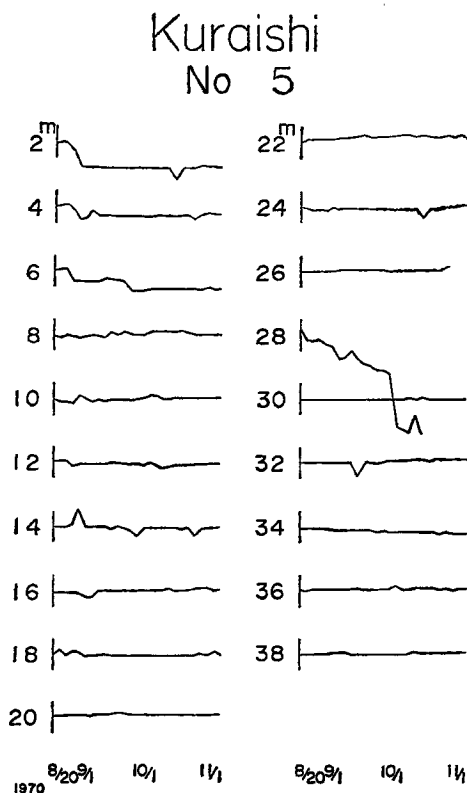


Fig. 9 Daily variations of detected strain values of each depth.

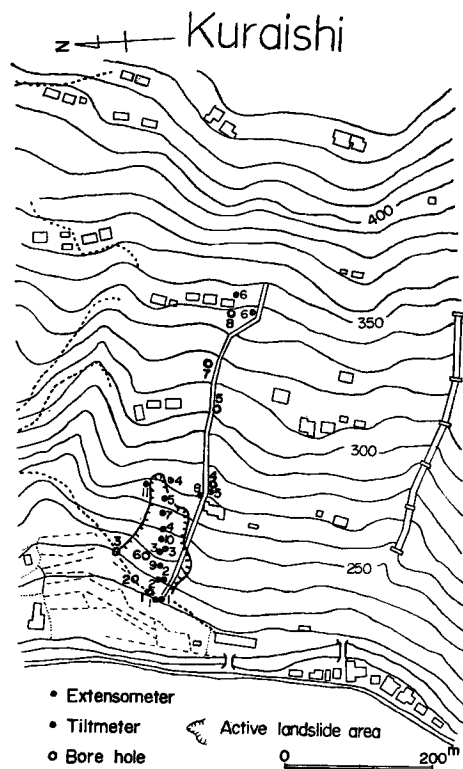


Fig. 10 Location map of the active landslide area of Kuraishi landslide area.

4. ま と め

今日、地中内部歪計は地すべり面・地すべり機構を論ずるうえで不可欠な調査手段となってきた。筆者らは、破碎帯地すべり地で利用されている地中内部歪計を否定するつもりは毛頭ないが、現状では上記したごとく多くの問題を残しており、破碎帯地すべり地により適した地中内部歪計を工夫するか、あるいは別途に新しい測定器を開発する必要性を感じている。

ここでは破碎帯地すべり地で測定された地中内部歪計の資料のいくつかの問題についてふれた。それらの問題は次のように整理される。

- 1) 倉石地すべり地の例で示されるように、検出された歪量値にばらつきが少なく、発散性傾向を示す 10^{-8} 以上の歪量が測定されても、地すべり面を判定するのに疑問が残される場合がある。
- 2) 地中内部歪計とボーリング孔の孔壁との間の空隙は、通常砂によって充填しているが、破碎帯地すべり地では十分充填しえず、長期間にわたって地中内部歪計とボーリング孔の孔壁との間の空隙が残されている可能性が高い。
- 3) 累積歪柱状図がその時点でのパイプの変形を示しているという考え方には疑問があり、累積歪柱状図はその時点のパイプの変形によって与えられた歪量の分布状態と考える方がよい。
- 4) 現状ではすべり層は種々の厚さが考えられるから、歪ゲージの糊付間隔はより密な間隔にし、数個所の歪ゲージで変形をとらえ、それぞれの歪量変化の相互関係から地すべり面を判定する必要がある。

謝 辞

この報文を作成するに当って協力いただいた徳島県砂防課，日ごろ御指導いただいている地すべり部門の島教授をはじめとする諸先生に謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 岩永 伸・津田禾粒：松之山地すべり——水梨地区——について，地すべり，Vol. 1, No. 2, 昭和39. 9, pp. 75-85.
- 2) 山口真一・高田雄次・竹内篤雄：串林地区地すべりについて，地すべり，Vol. 5, No. 4, 昭和44. 6, pp. 13-28.
- 3) 玉田文吾：口之津地すべりのすべり面形成過程について(I)，地すべり，Vol. 7, No. 4, 昭和46. 6, pp. 1-8.
- 4) 山口真一・高田雄次・竹内篤雄・小西利史：地中内部ひずみ計のモデル実験について，京大防災研究所年報第11号 A, 昭和43. 3, pp. 713-727.
- 5) 山口真一編：地すべり調査と対策講座 II，地すべり面の性格とその調査法，全国地すべり対策協議会，昭和45. 5, 77p.
- 6) 山口真一：パイプひずみ計による地すべり土塊の変形の姿を求める方法について，地すべり，Vol. 8, No. 4, 昭和47. 4, pp. 8-11.
- 7) 中村浩之・近藤政司・白石一夫：地中歪計による地すべりすべり面判定の一考察 地すべり，Vol. 6, No. 1, 昭和44. 8, pp. 1-9.
- 8) 高田雄次・湊元光春：パイプひずみ計について，京大防災研究所年報，第14号 A, 昭和46. 4, pp. 599-607.
- 9) 島 通保・竹内篤雄：地中変形測定器の試作について，地すべり学会第11回研究発表会演旨，昭和48. 1, p. 16.
- 10) 小出 博：日本の地すべり——その予知と対策——東洋経済新報社刊，昭和30. 9, 259p.
- 11) 古谷尊彦：倉石地すべり地の地表変動観測について，地域開発に伴う災害とその対策に関する総合的研究報告書，昭和47. 3, pp. 43-48.