

破碎帯地すべり地の電気探査について(補逸)

古谷尊彦・湊元豪己・小西利史

SOME PROBLEMS OF THE ELECTRIC PROSPECTING OF THE SHATTERED ZONE TYPE OF LANDSLIDE AREAS (SUPPLEMENT)

By *Takahiko FURUYA, Hidemi TSUMOTO and Toshifumi KONISHI*

Synopsis

The electric prospecting was conducted through the vertical sounding, based on the electric resistivity methods which consist of three-electrode, four-electrode and Schlumberger methods.

The results are summarized as follows.

- 1) The results of vertical sounding are unable to discriminate of the geology composed of base rock and detrital material layer in the shattered zone type landslide area.
- 2) The relationship between the ground water level and the resistivity value are not recognized obviously.
- 3) Landslide surface is detected by internal strain-meter in several depth and also electric discontinuity layer is divided into several layers composed of different resistivity values. Accordingly, it seems that the discussion of the relationship between discontinuity of electric resistivity and landslide surface is meaningless.
- 4) The influence of rainfalls is not clearly shown to the resistivity values of grounding electrode.

1. は し が き

地すべり地の地下構造探査、地下水探査に最も簡便で経済的な探査法として電気探査法があり、最近、高田(1968)¹⁾、竹内(1970a・b)^{2, 3)}、山口ら(1970)⁷⁾によって探査された結果が報告されている。それらの報告では、現状の電気探査法によって地下構造探査、地下水探査、地すべり面探査に有効な結果もたらされるとしているが、それら報文中に多くの矛盾した事実が記載されているものもあり、また、資料の不足もあって実際には地すべり地でどの程度活用できるか明確ではない。

この故に、筆者らは現状の電気探査法が破碎帯地すべり地でどの程度活用できるか、どのように用いたら精度の高い探査ができるか、また、どのような現象が電氣的に現われているか、といった事を知ろうと破碎帯地すべり地で電気探査を行ってきた。これまでに得られた結果の概要についてはすでに報告した(古谷ら1971)⁶⁾。今回は前回報告しなかった主として垂直探査の資料について報告する。

2. 調査の方法および地域

今回の報告は三波川帯で3箇所、御荷鉢帯で3箇所、秩父帯で1箇所、計7箇所の地すべり地で行なわれた電気探査の資料である。これら地すべり地は Fig. 1 および Table 1 に示される。

電気探査は地質現象との対応関係を調べるため上述の地すべり地で実施されているボーリング孔の位置で、三極法、四極法、Schlumberger 法によって実施した。三極法は白川、倉石、大藤、如谷川、和田の各地すべり地に、四極法は白川、倉石、松木野、長者の各地すべり地に、Schlumberger 法は白川、倉石の地すべり地にそれぞれ適用した(Table 2)。得られた資料の解析は三極法と四極法については標準曲線法、Sch-

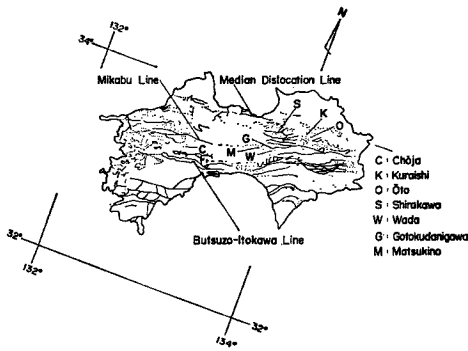


Fig. 1 Index map of surveyed landslide areas.

lumberger 法については Schlumberger の標準曲線によっている。

接地電極の雨水の影響について知るため、別途徳島地すべり観測所の敷地内で、電極を $a=1\text{ m}$, $a=2\text{ m}$, $a=3\text{ m}$, $a=6\text{ m}$ にそれぞれ固定し、1970年12月18日から1971年3月10日までの期間継続観測した。電極は径 10 mm, 長さ 30 cm の鉄製電極を使用し、地中に 10 cm の深さまでさしこんで固定した。

地質はボーリング資料により、地すべり面は白川、倉石、大藤の各地すべり地の地中内部歪計の資料により、それぞれ検討している。地中内部歪計の資料

Table 1 Location of surveyed landslide areas.

Landslide area	Location		Area (ha)	Geology
Shirakawa	Tokushima Pref., Miyoshi-gun,	Yamashiro-cho	22.15	Sambagawa metamorphic rocks
Kuraishi	" "	Ikawa-cho	54.48	"
Oto	" "	Mikamo-cho	29.74	"
Gotokudanigawa	Kochi Pref., Nagaoka-gun,	Otoyo-cho	128.0	Mikabu green-rocks
Wada	" "	" "	72.6	"
Matsukino	" Tosa-gun,	Tosa-cho	33.2	"
Choja	" Takaoka-gun,	Choja-mura	68.4	Palaeozoic rocks

Table 2 Relationship between depth of bedrock and depth of discontinuity of electric resistivity.

Location		Depth of bedrock (m)	Three-electrode (m)	Four-electrode (m)	Schlumberger (m)	Ground water level (m)
Shirakawa	No.1	10	8	11	16	6
	2	17	17	13.7	6	16.5
	3	21	15	6.5	23	23
	4	21	8	6.5	9	17
	5	25	17	9.8	11	21
Kuraishi	No.1	14	18	7	2.5	
	2	4.5	3.7	1.5	7	
	3	17	9.5	5.8	7.4	
	4	9	4.6	4.8	6.6	
	5	6.5	3.2	3.6	4.6	
Oto	No.1	14.5	16			18
	2	14	13			27
Gotokudanigawa	B-5	12	14			
	B-8	21.5	18			
	C-2	23	21			
	C-5	15	14			
Wada	A-1	20	17			
	2	21.5	13			
	5	37	13.5			
	8	17	5			
Matsukino	No.1	17		6.7		
	2	14		19		
	3	19		4		
Choja	No.1	5.4		4.8		
	2	26		17		
	3	?		11		

については山口ら (1968, 1969)^{8,9)}の方法によっている。なお、電気探査はいずれも横河電気K.K.製 3244型大地比抵抗測定器を使用した。

3. 固定電極と降雨量の観測結果

1) 電極固定位置の地質条件

電極固定位置周辺の地質は沖積世の扇状地堆積物からなり、主として和泉層群の砂岩・頁岩の角礫または亜角礫とそれから由来したローム質の土とから構成されている。電極固定位置は宅地造成されているため、上記の扇状地堆積物の一部人為攪乱の認められる場所になっている。

2) 電気比抵抗値の経日変化

前記の地質的条件の位置で観測を実施した。各深度について、それぞれ測定した結果を述べると次のようになる (Fig. 2)。

i) $a=1\text{ m}$

電気比抵抗値の変動は1971年12月18日観測開始当初の $50.9\text{ k}\Omega\text{-cm}$ から1971年2月1日の $58.4\text{ k}\Omega\text{-cm}$ に、12月28日から31日にかけて $3.3\text{ k}\Omega\text{-cm}$ および1月20日から25日にかけて $3.2\text{ k}\Omega\text{-cm}$ のばらつきの値をはさむが、ほぼ連続的に増加が認められる。2月2日から12日にかけてほとんど変動せず、12日以後26日にかけて $4.6\text{ k}\Omega\text{-cm}$ の減少を示す。その後、3月1日より3月10日にかけて $4.6\text{ k}\Omega\text{-cm}$ の増加を示し、2月2日に測定された $58.4\text{ k}\Omega\text{-cm}$ の値にまで回復した。2月12日から26日にかけての電気比抵抗値の減少の際、20日、23日、24日に $2\text{ k}\Omega\text{-cm}$ の値の幅のばらつき変動がはさまる。

降雨の電気比抵抗値におよぼす影響は12月28日から30日にかけての電気比抵抗値のばらつき変動に 38 mm の降雨量が対応しているが、他の電気比抵抗値のばらつき変動についてはまったく降雨は対応していない。2月12日以後の電気比抵抗値の減少傾向は2月14日の 59 mm の降雨量が対応している。しかし、電気比抵抗値の減少傾向はすでに12日に認められており、正確に降雨量の影響であると判断しがたい。

ii) $a=2\text{ m}$

$42.6\text{ k}\Omega\text{-cm}$ の電気比抵抗値から観測が始まり、2月2日にかけて連続的に変動して $7.6\text{ k}\Omega\text{-cm}$ の電気比抵抗値の増加が認められた。2月2日から22日までは $52\text{ k}\Omega\text{-cm}$ の値で変動はなく、2月23日以後減少傾向が見られ、3月1日に $47.8\text{ k}\Omega\text{-cm}$ に達し、3月5日以後増加傾向にあり、最終観測日の10日に $49.6\text{ k}\Omega\text{-cm}$ に回復している。なお、観測期間中12月23日、28日、1月18日、20日、22日、23日、2月6日、17日、18日、3月2日、3日に、 $1\sim 3.8\text{ k}\Omega\text{-cm}$ の値の幅でばらつきの電気比抵抗値の変動があった。

降雨量の電気比抵抗値におよぼす影響はまったく不明である。2月23日以後の電気比抵抗値の減少は2月14日の 58 mm の降雨後9日目にあたっている。

iii) $a=3\text{ m}$

観測開始当初 $36.6\text{ k}\Omega\text{-cm}$ の電気比抵抗値から出発し、2月3日にかけて連続的に電気比抵抗値が増加し、 $41.3\text{ k}\Omega\text{-cm}$ の値に達し、以後観測終了時まで $41.3\text{ k}\Omega\text{-cm}$ 前後の電気比抵抗値が測定され、ばらつき以外ほとんど変動は認められなかった。電気比抵抗値のばらつき変動は12月21日、2月6日、17日、23日、25日、3月4日、5日、8日にそれぞれ $1\sim 5.2\text{ k}\Omega\text{-cm}$ の値の幅で検出された。

降雨量の影響による比抵抗値の変動はまったく認められなかった。

iv) $a=6\text{ m}$

比抵抗値の変動は観測開始当初 $23.4\text{ k}\Omega\text{-cm}$ の電気比抵抗値から観測終了時まで連続的に増加し、 $26.8\text{ k}\Omega\text{-cm}$ までに達している。1月2日、19日、28日、2月6日、3月1日に $0.8\sim 2.2\text{ k}\Omega\text{-cm}$ の値の幅内でそれぞればらつきの変動が認められる。

降雨量の影響による電気比抵抗値の変動はまったく認められない。

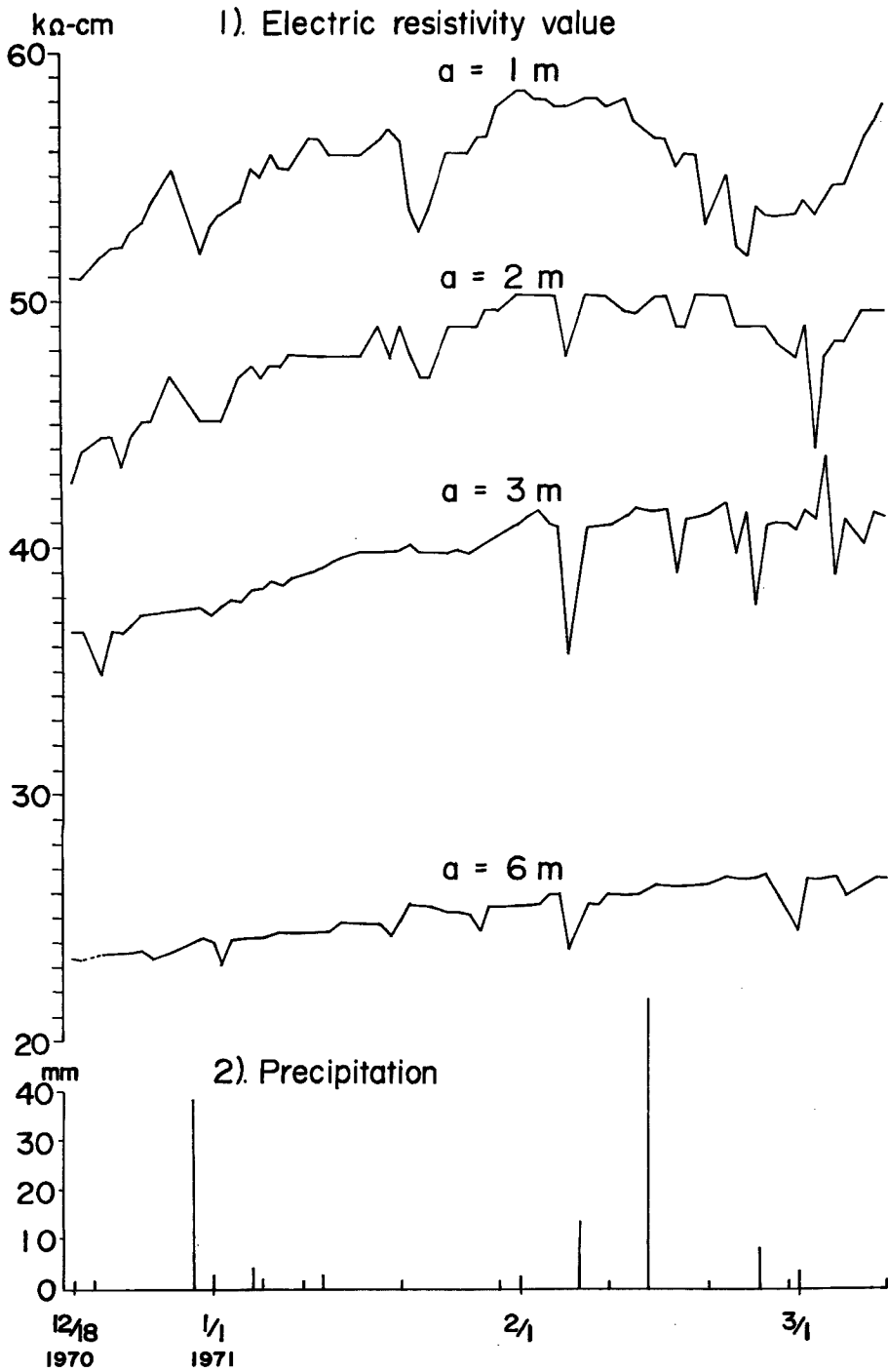


Fig. 2 The daily variations of electric resistivity values and precipitation.

Shirakawa

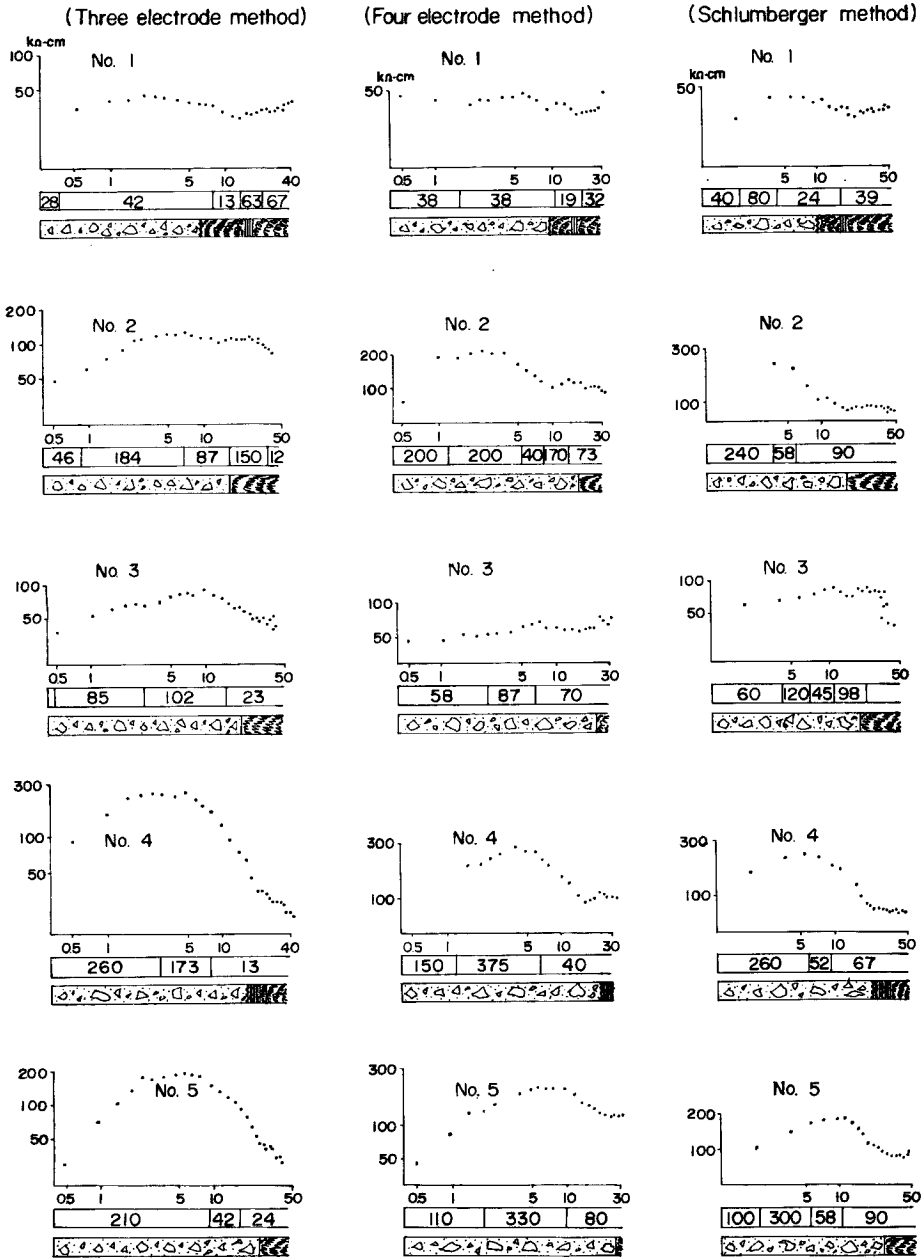


Fig. 3 Relation among ρ - a curve, electric resistivity value and geological phenomena.

Kuraishi

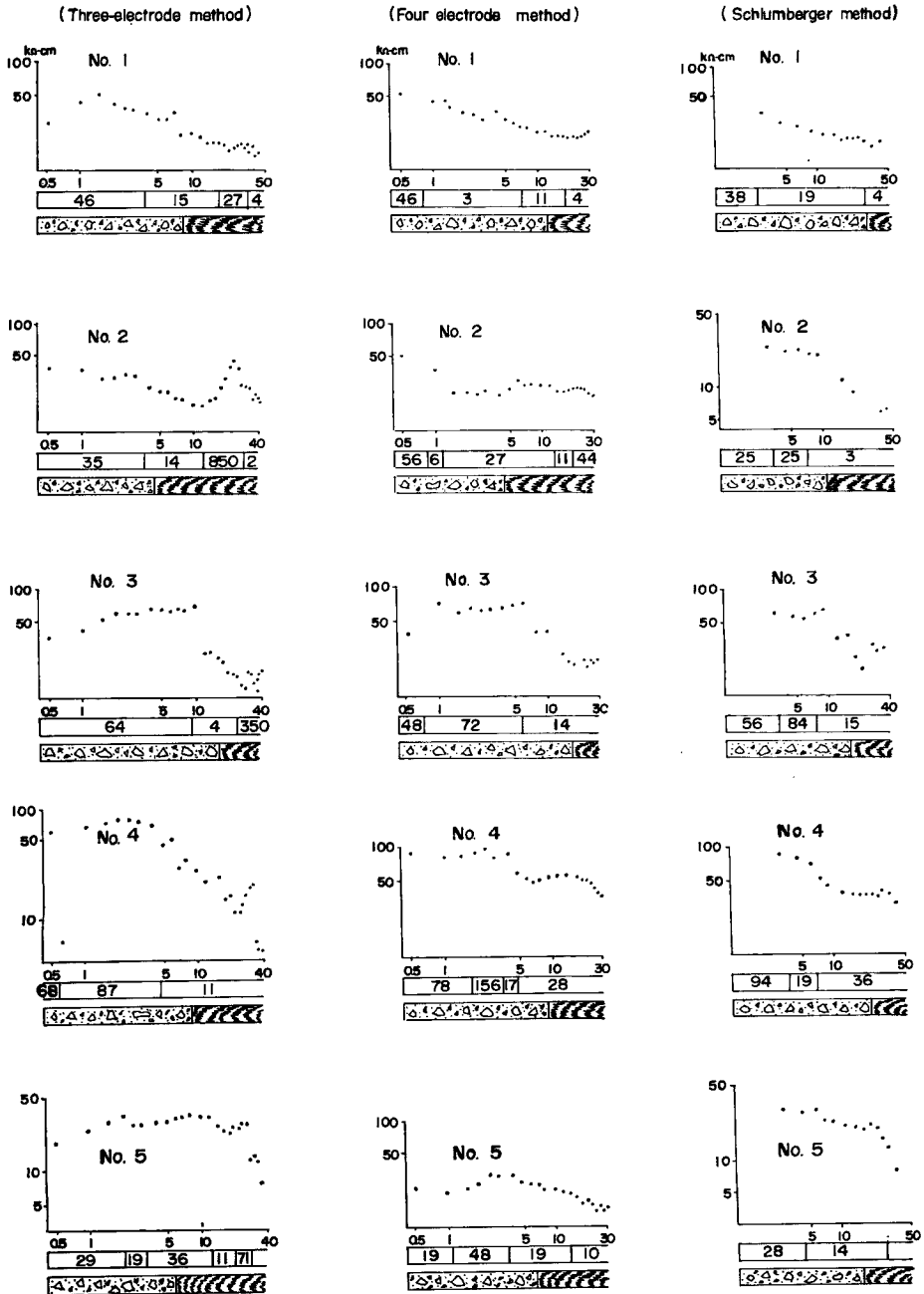


Fig. 4 Relation among ρ - a curve, electric resistivity value and geological phenomena.

4. 垂直探査の結果と地質の関係について

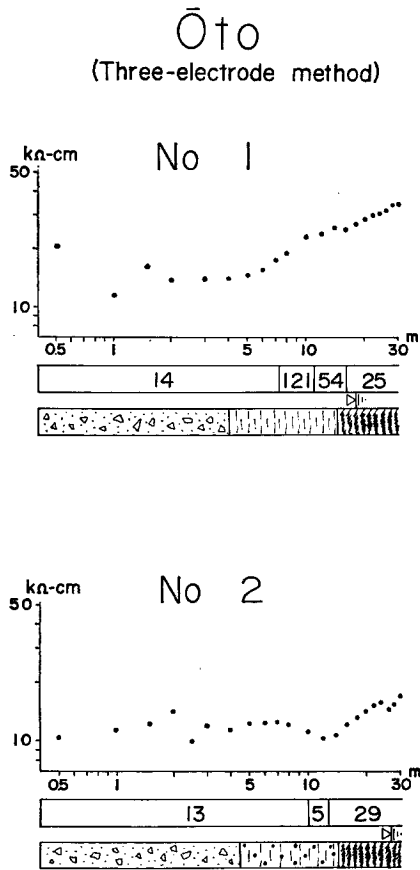


Fig. 5 Relation among ρ - a curve, electric resistivity value and geological phenomena.

地質調査をしようかどうかということにかかってくる。そこで地層の境界の深さと垂直探査の結果判明している電気的不連続を示す深さを検討すると Table 2 のごとくなる。

Table 2 には、電気的不連続を示す深さを基岩と岩屑性堆積物との境界の深さに最も近い深さを選んで表示した。しかし、基岩と岩屑性堆積物の境界に最も近い電気的不連続を示す深さが、基岩と岩屑性堆積物との境界を表わしているという点に関しては問題がある。例えば、基岩は岩質がほぼ同質であるという仮定からほぼ同じくらいの統一された電気比抵抗値を示さねばならないという考え方である。この考え方に従えば、各地点で測定されたほぼ同じくらいの電気比抵抗値を示す深さの電気的不連続を示す深さが、基岩と岩屑性堆積物の境界の深さに相当する。しかし、例えば、基岩の部分の電気比抵抗値は黒色片岩の基岩を有する白川地すべり地の No. 1 で $13 \text{ k}\Omega\text{-cm} \sim 67 \text{ k}\Omega\text{-cm}$ 、No. 2 で $12 \text{ k}\Omega\text{-cm} \sim 150 \text{ k}\Omega\text{-cm}$ 、御荷鉾緑色岩の基岩からなる如谷川地すべり地の B-8 で $12 \text{ k}\Omega\text{-cm}$ 、C-8 で $180 \text{ k}\Omega\text{-cm}$ と同一地すべり地内の同質の基岩でも著しく異なる電気比抵抗値を示す (Fig. 3, 6)。

電気探査によって得られた結果は Fig. 3~9 に示した。Fig. 3~9 には ρ - a 曲線とその解析結果による電気比抵抗値の柱状図とボーリングによる地質柱状図がそれぞれ示されている。三極・四極・Schlumberger の各方法によって解析された電気的不連続を示す深さは Fig. 3~9, Table 2 にそれぞれ明示され、それによると各ボーリング孔の位置の地下 30 m、一部 50 m までの地質について、数個所の電気的不連続が識別される。

地すべり地で重要な地質条件について、すでに一部述べたことがある (古谷 1970 a,b, 古谷ら 1971)^{4,5,6)}。それは地すべり発生の地質的条件が、1) 基岩内部の著しい破碎に起因している、2) 基岩の深層風化に起因している、3) 基岩上部の主として過去の地すべりや山崩れによって生産された第四紀の未固結の岩屑性堆積物に起因している、などである。

一方、ボーリングによる地質調査の結果 (Fig. 3~9) は 7 個所の地すべり地に共通して次の事がいえる。地質は上部に岩屑性堆積物、下部に変成岩類または古生層の岩石からなる基岩とから構成されている。岩屑性の堆積物は径数 m に達する岩塊が含まれることがあり、岩屑は角礫または亜角礫からなり、これらの礫間はローム質あるいは粘土質の土によって充填されている。これらの現象は調査した地すべり地の地質が未固結の岩屑性の堆積物と基岩とから成立していることを意味している。

地下水は地層中の岩屑の多い部分や基岩の割れ目からの浸み出しがしばしば認められる。

上述のごとく調査した破碎帯地すべり地で重要な地下構造は岩屑性堆積物と基岩との識別である。この両者の地層の境界が電気的に表現されるかどうかは電気探査によって地

Gotokudanigawa (Three-electrode method)

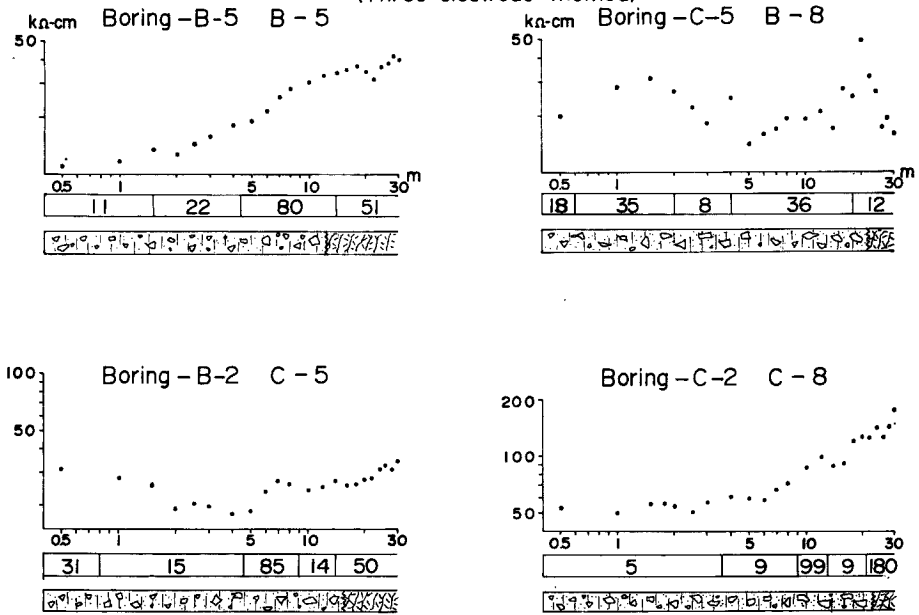


Fig. 6 Relation among ρ -a curve, electric resistivity value and geological phenomena.

Wada (Three-electrode method)

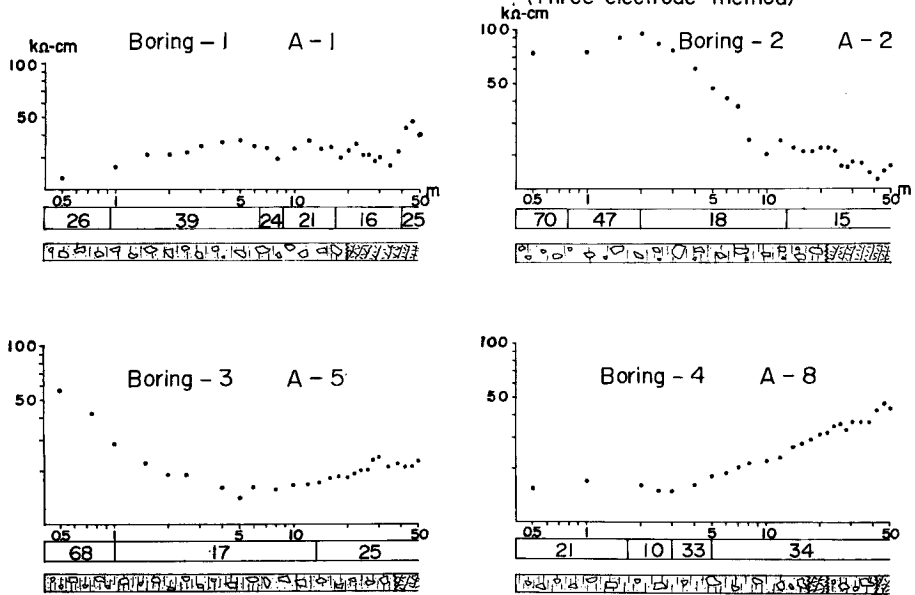


Fig. 7 Relation among ρ -a curve, electric resistivity value and geological phenomena.

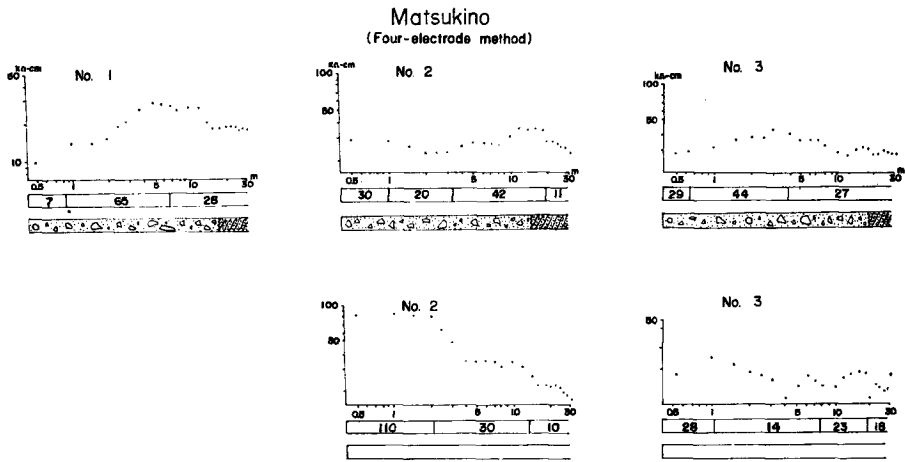


Fig. 8 Relation among ρ - a curve, electric resistivity value and geological phenomena.

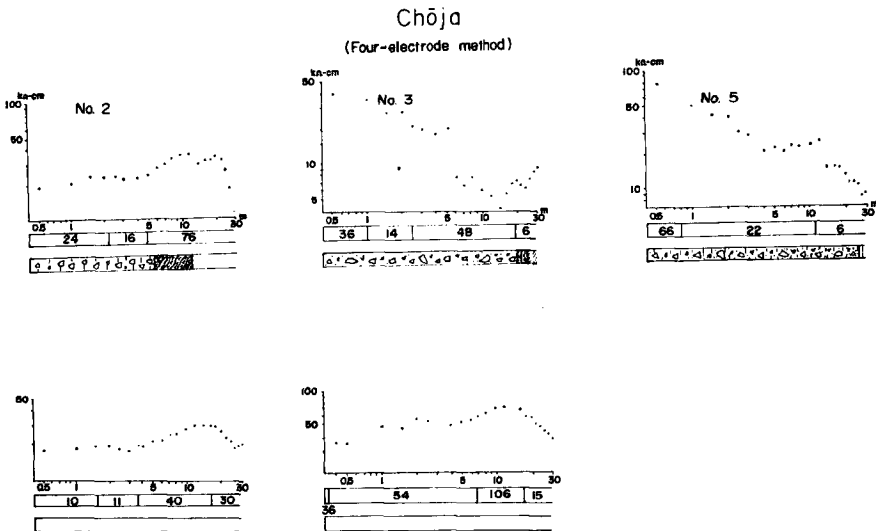


Fig. 9 Relation among ρ - a curve, electric resistivity value and geological phenomena.

現実に電気探査を実施し、得られた資料を解析した結果は Fig. 3~9 の如くであり、上記のように同じくらの電気比抵抗値の部分の電気的不連続を示す深さを選らば、基岩と岩屑性堆積物の境界に最も近い電気的不連続の深さを取るよりもさらに基岩と岩屑性堆積物の境界との誤差が大きくなってしまふ。

Table 2 に表示した基岩の深さと電気的不連続を示す深さを解析の時の誤差を ± 3 m の幅に見込んで検討すると次のようになる。三極法の場合 20 地点のうち、電気的不連続を示す深さが基岩の境界を示すとされる地点として 9 地点があげられる。それらは白川地すべり地の No. 1, No. 2, 倉石地すべり地の No. 2, 大藤地すべり地の No. 1, No. 2, 如谷川地すべり地 B-5, C-2, C-5, 和田地すべり地 A-1 である (Table 2)。

四極法の場合は 15 地点のうち 2 地点のみで、それぞれ白川地すべり地の No. 1, 長者地すべり地の No. 1 であった (Table 2)。

Schlumberger 法については 10 地点のうち 4 地点が数えられる。それらは白川地すべり地の No. 3, 倉石地すべり地の No. 2, No. 4, No. 5 である (Table 2)。

次に、解析の時の誤差を ± 5 m の幅に見込んだ場合について検討すると次のような結果になる。

三極法の場合は 20 地点のうち 13 地点があげられる。それらは白川地すべり地の No. 1, 2, 倉石地すべり地の No. 1, 2, 4, 5, 大藤地すべり地の No. 1, 2, 如谷川地すべり地の B-5, B-8, C-2, C-5, 和田地すべり地の A-1 がそれぞれ ± 5 m の誤差範囲に入る (Table 2)。

四極法の場合は 15 地点のうち 7 地点が数えられ、それらは白川地すべり地の No. 1, 2, 倉石地すべり地の No. 2, 4, 5, 松木野地すべり地の No. 2, 長者地すべり地の No. 1 があげられる (Table 2)。

Schlumberger 法の場合については 10 地点中 4 地点で確認され、 ± 3 m の誤差を見込んだ場合と変わらない (Table 2)。

これらの結果、10~20 地点と資料の不足はさげられないが、電気的不連続によって基岩の深度を識別できる確率として、 ± 3 m の幅の誤差を見込んだ場合三極法は 4.5 割、四極法は 1.3 割、Schlumberger 法は 4 割であった。それらの平均は約 3.3 割の確率である。

± 5 m の幅に誤差を見込んだ場合については、基岩の識別しうる確率として三極法は 6.5 割、四極法は 4.7 割、Schlumberger 法は 4 割で、また、これらを平均すると約 5.1 割の確率になる。

地下水位と電気的不連続の関係は地下水位の確認される地点が 7 個所にすぎず、十分な検討はなしであった。3 m の誤差を見込んだ電気的不連続の深さ*1 と地下水位の深さは三極法の場合 7 個所のうち 3 個所、四極法と Schlumberger 法の場合はそれぞれ 5 個所のうち 1 個所となっている (Table 2)。これは非常に少ない資料であるが、地下水位の深さと電気的不連続の深さの一致は三極・四極・Schlumberger の各方法による場合を平均して 2.8 割の確率にしかならない。

各地点について地質・地下水と垂直探査の結果をそれぞれ検討した結果は上述のごとくであった。これらの事実は現状の電気探査法によって破砕帯地すべり地の地質・地下水を識別し、地すべり現象について論ずるには問題がある。

5. 垂直探査結果と地すべり面の関係

白川・倉石・大藤の各地すべり地内に設置された合計 12 本の地中内部歪計から得られた地すべり面の深さは Table 3 に示される。12 本の地中内部歪計のうち、7 本の地中内部歪計で発散傾向を示し、かつ 10^{-8} 以上の累積歪量が検出され、それぞれ地すべり面を形成していると推定された (Table 3)。

判定された地すべり面は 1 本の地中内部歪計で数個所の地すべり面が認められる場合が多く (例えば倉石地すべり地の No. 2 では 4 個所の深さで認められる)、数個所の深さで認められる電気的不連続と関係づけることは何の意味もなさない。また、 10^{-8} 以上の歪量が検出され、かつ発散傾向を示し、地すべり面と判定された歪量の中に、明らかに不動と思われる基岩内部に位置するものがある (Table 3)。このため現状の地中内部歪計による破砕帯地すべり地の地すべり面判定法については問題がある*2。

これらのことより地すべり面と電気的不連続との間には法則性を考えることは現状では不可能と考えたほ

Table 3 Relationship between depth of landslide surface and depth of discontinuous surface of resistivity.

Landslide area	Bedrock	Three-electrode	Four-electrode	Schlumberger	Depth of landslide surface (strain) (m)
	(m)	(m)	(m)	(m)	
Shirakawa No.1	10	8	11	16	4(-2.7×10^{-3}), 12(-2.1×10^{-3})
	2	17	13.7	6	
	3	21	15	6.5	4(-2.1×10^{-3}), 8(-5.7×10^{-3}), 18(-1.2×10^{-3})
	4	21	8	6.5	
	5	25	17	9.8	
Kuraishi No.1	14	18	7	2.5	18(1.4×10^{-3}), 24(1.4×10^{-3}), 32(1.1×10^{-3})
	2	4.5	3.7	7	4(1.2×10^{-3}), 14(2.7×10^{-3}), 22(1.6×10^{-3}), 34(1×10^{-3})
	5	6.5	3.2	3.6	4.6
Oto No.1	14.5	16			6(1×10^{-3})
	2	14	13		6(2×10^{-3})

うが妥当である。

7. ま と め

この報告では、昨年報告で報告しなかった、①主として垂直探査の結果と、②接地電極の雨水の影響についての観測結果について述べた。これらをまとめると次のごとくである。

- 1) 垂直探査の結果は基岩と岩屑性の堆積物を識別することは現状の電気探査法では困難である。
- 2) 地下水位と電気比抵抗値の間に明確な関係は認められなかった。
- 3) 地すべり面と電気比抵抗値との関係は数個所の深さに認められる地すべり面と数層に分けられる電気的不連続層を結びつけることはおよそ意味をなさず、現状では問題がある。
- 4) 雨水の接地電極の比抵抗値におよぼす影響は明確な関係を示さなかった。

これらの事実は電気探査によって破碎帯地すべり地で地下構造探査、地下水探査を行なうには問題が多く、現状の電気探査のみで地すべり地の諸種の現象を論ずることは困難である。

謝 辞

本報作成にあたり、徳島地すべり観測所長吉川宗治教授ならびに、地すべり部門島教授を始めとする諸兄に御世話になった。また、現地調査にあたり、徳島県脇町土木事務所倉本・佐々木の両技師に種々御便宜いただいた。記して謝意を表します。

*1 前記した地質と電気的不連続の深さの関係と同様、地下水位の深さに最も近い深さを選んでいる。

*2 この問題点については別の機会にあらためて報告するつもりである。

参 考 文 献

- 1) Takada, Y: A Geophysical Study of Landslides (Application of the Electrical Resistivity Survey of Landslides). Bull. Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ. Vol. 18, Part 2, No. 137, 1968 pp. 37~58
- 2) 竹内篤雄：破碎帯型地すべり地における電気探査の有意性について、京都大学防災研究所年報，第13号A，昭45. 3, pp. 479~498.
- 3) ———：電気探査より見た高知県下の破碎帯地すべり地について，地すべり学会誌，Vol. 7, No. 2, 昭45. pp. 19~30.
- 4) 古谷尊彦：破碎帯地すべりの研究 —主として御荷鉾緑色岩類地域の地すべり地の堆積物について— 京都大学防災研究所年報，第13号A，昭45. 3, pp. 517~529.

- 5) ———— : 地すべり地研究でもたらされた地形生成過程に関する 2・3 の問題, 東北地理, Vol. 22, No. 4, 昭 45. pp. 211~217.
- 6) 古谷尊彦・湊元豪巳・小西利史 : 破砕帯地すべり地の電気探査について, 京都大学防災研究所年報, 第 14 号 A, 昭 46. 4, pp. 563~587.
- 7) 山口真一・高田雄次・竹内篤雄・中川 鮮 : 電気探査による地すべり防止工事の効果判定について, 一串林地すべり地一, 京都大学防災研究所年報, 第 13 号 A, 昭 45. 3, pp. 463~477.
- 8) 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(1), 京都大学防災研究所年報, 第 11 号 A, 昭 43. 3, pp. 713~727.
- 9) 山口真一・高田雄次・竹内篤雄・中川鮮・小西利史・黒江良子 : 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 p. 77