

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

竹 内 篤 雄

ON THE EFFECTIVENESS OF THE ELECTRIC SURVEY AT THE FRACTURED ZONE TYPE LANDSLIDE

By *Atsuo TAKEUCHI*

Synopsis

The electric survey was carried out at some fractured zone type landslides in order to check upon the effectiveness of the electric survey at that type landslides.

The result was that the electric survey at the fractured zone type landslides were very effective survey.

Next informations were gotten by the electric survey;

- 1) Outline of bedrock form of the landslide area
- 2) Existed depth of the bedrock layer
- 3) Thickness of the slide layer
- 4) Existent conditions of the underground water in the landslide area
- 5) Supposition of the easy movement mechanism of the landslide.

1. 序

地すべり移動機構の解明ならびに地すべり防止工法の研究に当っては、その基礎資料として地すべり地の地下構造に関する資料を得ることは必須の事である。このために今日まで地すべり地の地下構造を出来るだけ正確に推定すべく種々の試みがなされて来ている。しかしいづれの調査方法も満足すべき情報を得ることができず、行き詰りの状態にあった。

このような状況にある時に、山田¹⁾は第三紀層型地すべり地である新潟県能生谷地すべり地で、百瀬²⁾は三波川結晶片岩地帯地すべり地である徳島県鮎喰川流域の西小野、安吉、殿宮の各地すべり地で、土壤の物理的性質の微妙な相異を利用した電気探査を実施した。しかしいづれの場合も同時に実施された地震探査の解析結果に基づいて地すべり発生機構が論じられており、電気探査の解析結果は単に参考資料として記されているにすぎない。しかしその解析結果を検討すると、電気探査は地すべり地についてある種の情報を提供していることを示していることが判る。

その後電気探査による地すべり調査は多少実施されたが、地すべり地における電気探査結果に対し過大な評価をしたため、現実とあまりにもかけはなれた解釈がなされ一時は問題視されない所まで行った。しかし一部の地球物理学徒の絶え間ない努力により探査法、調査結果の解釈方法等に種々の改良が加えられて、再び地すべり調査法の一つとして使用されるようになった。

高田³⁾は特に第三紀層型地すべり地における電気探査の有意性について研究を行い、第三紀層型地すべり地において電気探査を行うことにより、地すべり地の地下構造の概要を把握することができ、地すべり活動及び地すべり地内の地下水に関する情報を得ることが出来ることを示した。その結果多くの第三紀層型地すべり地で電気探査が行われるようになり、地すべり移動機構解明及び地すべり防止対策工事に対して貴重な資料を提供してきている⁴⁾⁻⁹⁾。

地すべりの型は小出¹⁰⁾によると第三紀層型、破碎帯型、火山温泉型の三つに大別されている。このうち第三紀層型地すべり地における電気探査の有意性は高田により明らかにされていることは前述した。そこで筆者はその他の型の地すべり地において、どの程度電気探査の有意性が存在するかを調査研究して見ようと考えた。と云うのは他の型の地すべり地においても電気探査の有意性が認められるならば、地すべりの移動機構解明及び地すべり防止対策工法に対して第三紀層型地すべり地の場合と同様に貴重な資料を提供することが出来、それに基づいて効果的な地すべり調査及び防止対策工事が実施出来るようになると共に、その結果として調査費、防止対策工事費の低減化に大きく貢献すると思ったからである。

現在第三紀層型地すべり地以外の型の地すべり地では、電気探査が実施された例は殆んど見られない。そこで筆者は第三紀層型地すべり地について数多くの地すべり地が存在する破碎帯型地すべり地において電気探査を実施し、破碎帯型地すべり地において電気探査の有意性が存在するかどうかを調査研究することにした。調査地域には典型的な破碎帯型地すべり地の数多く分布する四国は高知県下を選んだ。

2. 研究対象に選定した地すべり地

高知県下には地すべり防止指定地に定められている地すべり地は65ヶ所あるが、今回はこれら地すべり地から次の二つの地すべり地を選定した。

- 1 長者地すべり地：高岡郡仁淀村長者
- 2 和田地すべり地：長岡郡大豊村和田

長者地すべり地は、破碎帯型地すべり地の中では第三紀層型地すべり地に近い挙動を示している流動型の地すべり地であるので、電気探査の有意性を検討するためにはもっとも適した地すべり地ではないかと考えたからであり、和田地すべり地は御荷鉾緑色岩類地帯の地すべりであり、破碎帯型地すべり地の中でも種々な特異点を持つ地すべり地とされているので、電気探査の有意性の真偽を問うには絶好な地すべり地と考えて選定した。

3. 研究方法

研究方法是、すでに高田により第三紀層型地すべり地で明らかにされている電気探査の有意性が定性的に破碎帯型地すべり地にも適応出来るという仮説を立てて、選定された未知の地すべり地においてまず電気探査を行い、その調査結果に基づいて他の地すべり調査を実施した。そしてその実施された各種地すべり調査結果から、逆に筆者が先に立てた仮説が正しいがどうかを検討すると云う方法をとった。

4. 長者地すべり地に適応した例

4.1 長者地すべり地の概要

長者地すべり地は高知県高岡郡仁淀村長者に位置する地すべり地であり、地形的には不活動地塊と活動地塊との境が非常にはっきりしている。現在活動している地すべり地は、巾 100~200 m、地すべり方向の長さは 500 m で、面積は 14.3ha である。標高差は 230 m で地すべり上端部は標高 520 m の峠に達している。

地質的には栃木¹¹⁾により詳しく調査されている如く秩父累帯黒瀬川構造帯に属し、古生層粘板岩の間に挟まれた蛇紋岩境界層の地すべりであり、この種の地すべりとしては我国でも代表的なものの一つとされている。地すべり地周辺部は黒瀬川構造帯のレンズ状貫入体である三滝火成岩類が部分的に存在しており、一方地すべり主要部は表面より深部に向って、岩屑（上部は蛇紋岩の風化粘土、下部は粘板岩の風化粘土）、上層粘板岩、蛇紋岩又は輝緑凝灰岩、下層粘板岩、砂岩の順にはば層状をなしているとされている。

土地利用の面では地すべり上部は雑木林又は三つ桧が分布しており、その他は殆んど傾斜畑として利用されている。地すべり地の両側付近は特に土地が荒れており三つ桧が植えられている。

地すべり活動状況の面は、村誌¹²⁾によると当地すべり地は延暦年間(790 A.D.)に大規模な活動を起してお

り、その後も幾たびか大地すべりを繰返していることが示されている。この数回の大地すべりの際に長者川を隆起させ、更に対岸の山に移動土塊が押し上げられたことが村誌に示されているが、現在もその土塊が長者川を挟んで地すべり地と対して存在している。又長者川は大地すべりのたびに川を堰止められ幾たびかその流路をかえているが、明治時代に入ってから明治19年の大地すべり活動の時に、長者川は現在の流路を流れるようになったと云われている。その後地すべり地は明治23年に大きく動いており、それ以来毎年平均1 m 以上も流動している。この為に地すべり防止工事が本格的に実施されるまでは、毎年のように地すべり地内を横断する県道が地すべり地境界付近で破壊されて補修しなければならなかったのみならず、多くの畑地が長者川に押し出され、出水時のたびに作物ごと流失されて大きな被害を地元を与えていた。

このような状態にある時に、昭和39年度より高知大学、京都大学の手により地すべり防止対策工事の参考資料を得る目的で諸種の地すべり調査が実施されることになった。そこでこの貴重な調査機会を利用して第三紀層型地すべり地において有意性を認められた電気探査が、破砕帯型地すべり地ではどの程度の有意性を示すかを検討する目的で、当地すべり地で自然放射能探査、弾性波探査と平行して電気探査を実施した。これら諸探査結果に基づいて後続の地すべり諸調査が実施されたので、この諸地すべり調査結果から逆に電気探査の有意性を検討してみた。

4.2 調査範囲及び調査方法

電気探査は現在流動型地すべりを起している地域に焦点を絞って、Fig. 1 に示す地域に44測点を設けて実施した。電極配列方法は Wenner の4極法を用い、測定電極間隔は最大 30 m とした。使用した測定器は横河電機製作所製の大地比抵抗測定器 L-10 型である。測定結果は ρ_a - a 曲線に表わし、Schlumberger

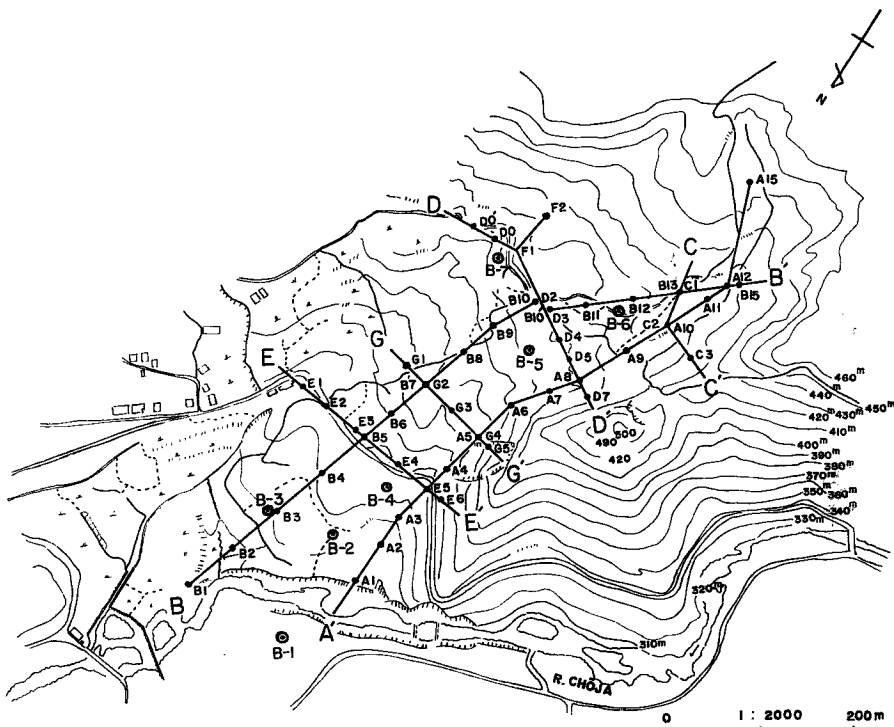


Fig. 1 Topographical map of Choja landslide area (including location of the measuring points of electric survey)

標準曲線による解析を行い、地すべり地の地下構造を推定すると共に得られた見掛け比抵抗値を同深法により解析し、その見掛け比抵抗値の分布状況を検討した。

4.3 地下構造推定結果

地すべり地内に設けられた電気探査の測点のうち、適当な測点を結んで幾つかの測線を設けた。その断面図に各測点において得られた解析結果を記入し地下構造を推定した。Fig. 2 a, b にその結果を示す。

A 測線：この測線は地すべり地の東側を縦断するように設けたものである。これによると比抵抗値的には概ね三層構造を成していることが示されている。第一層は $18\sim98\text{ k}\Omega\text{-cm}$ の比抵抗値を有する土塊より成り層の厚さは $2\sim13\text{ m}$ である。第二層は $8\sim46\text{ k}\Omega\text{-cm}$ の比抵抗値を示し、層の厚さは $5\sim25\text{ m}$ である。第三層には $24\sim153\text{ k}\Omega\text{-cm}$ を示す層が存在しており、地表より第三層目までの深度は $7\sim30\text{ m}$ である。

全体としてこの測線を見ると、測点 A-8 と A-9 の間に不連続な所が見られ、ここを境として地すべり上部と下部の2ブロックに分かれて滑動しているように見受けられる。

B 測線：この測線は地すべり地の西側を縦断するように設けた測線である。これを見ると測線と同様に概ね三層構造を成している。第一層は $2.3\sim148\text{ k}\Omega\text{-cm}$ の比抵抗値を示す土塊より成っており、その層厚は $2\sim15\text{ m}$ である。第二層は $0.5\sim36\text{ k}\Omega\text{-cm}$ の比抵抗値を示す層より成っており、その層厚は $3\sim30\text{ m}$ である。第三層目は比抵抗値 $20\sim180\text{ k}\Omega\text{-cm}$ の値を示すものより成っており、地表より第三層目までの深度は $5\sim37\text{ m}$ である。この測線においても A 測線と同様に B-8 B-9 測点との間に不連続な所が存在し、ここを境として地すべり上部と下部の2ブロックに分けられることが示されている。

4.4 同深法による解析結果

次に第三層型地すべり地において、地下水の賦存状態を推定するためによく用いられている同深法による解析を当地すべり地で行ってみた。

電極間隔 $a=2, 5, 10, 20, 30\text{ m}$ における等見掛け比抵抗値図を描いたのが Fig. 3 (a~e) である。

$a=2\text{ m}$ ：地すべり中央より下部及び地すべり上部東側に $20\text{ k}\Omega\text{-cm}$ 以下の低見掛け比抵抗値を示す地域が存在している。

$a=5\text{ m}$ ：地すべり中央部にある県道の北側から長者川まで、地すべり中央部、 $a=2\text{ m}$ と同じ地すべり上部東側に低見掛け比抵抗値が分布している。

$a=10\text{ m}$ ： $a=2\sim5\text{ m}$ までは2, 3ヶ所に分離していた低見掛け比抵抗値分布地域が一つの帯に連なって地すべり地の東寄りを縦断するような状態となった。

$a=20\text{ m}$ ： $a=10\text{ m}$ とほぼ同じ地域に低見掛け比抵抗値が分布している。

$a=30\text{ m}$ ： $a=10, 20\text{ m}$ と殆んど同じ地域に低見掛け比抵抗値が分布している。

以上各電極間隔において得られた低見掛け比抵抗値分布地域を、その分布状況を理解し易くするために一枚の図にまとめたものが Fig. 4 である。

これを見ると、当地すべり地で低見掛け比抵抗値分布地域が全ての電極間隔において一致しているのは、地すべり上部東側に寄った地域と、地すべり中央部から長者川に至る部分の東寄りの2ヶ所であることが判る。又 $a=10\sim30\text{ m}$ では地すべり地の東寄り一体に低見掛け比抵抗値が広がっているのが見られる。

4.5 電気探査結果の総括

当地すべり地の地下構造は概ね三層構造を成しており、各層の平均的な比抵抗値は第一層が、 $67.6\text{ k}\Omega\text{-cm}$ 、第二層が $16.0\text{ k}\Omega\text{-cm}$ 、第三層は $63.7\text{ k}\Omega\text{-cm}$ である。地すべり活動を起していると推定される地層は第二層以浅であり、その比抵抗値は $0.5\sim46\text{ k}\Omega\text{-cm}$ の範囲にある。又 A, B 両測線断面図を見ると、地すべり土塊は測点 A-8, A-9 と及び測点 B-8, B-9 との所で上下2つの移動土塊に分けることが出来ると考えられ、現地形ではこれらの測点付近に土塊の盛り上がりが見られる。

同深法による解析結果を見ると、当地すべり地の低見掛け比抵抗値（見掛け比抵抗値 $20\text{ k}\Omega\text{-cm}$ 以下）を

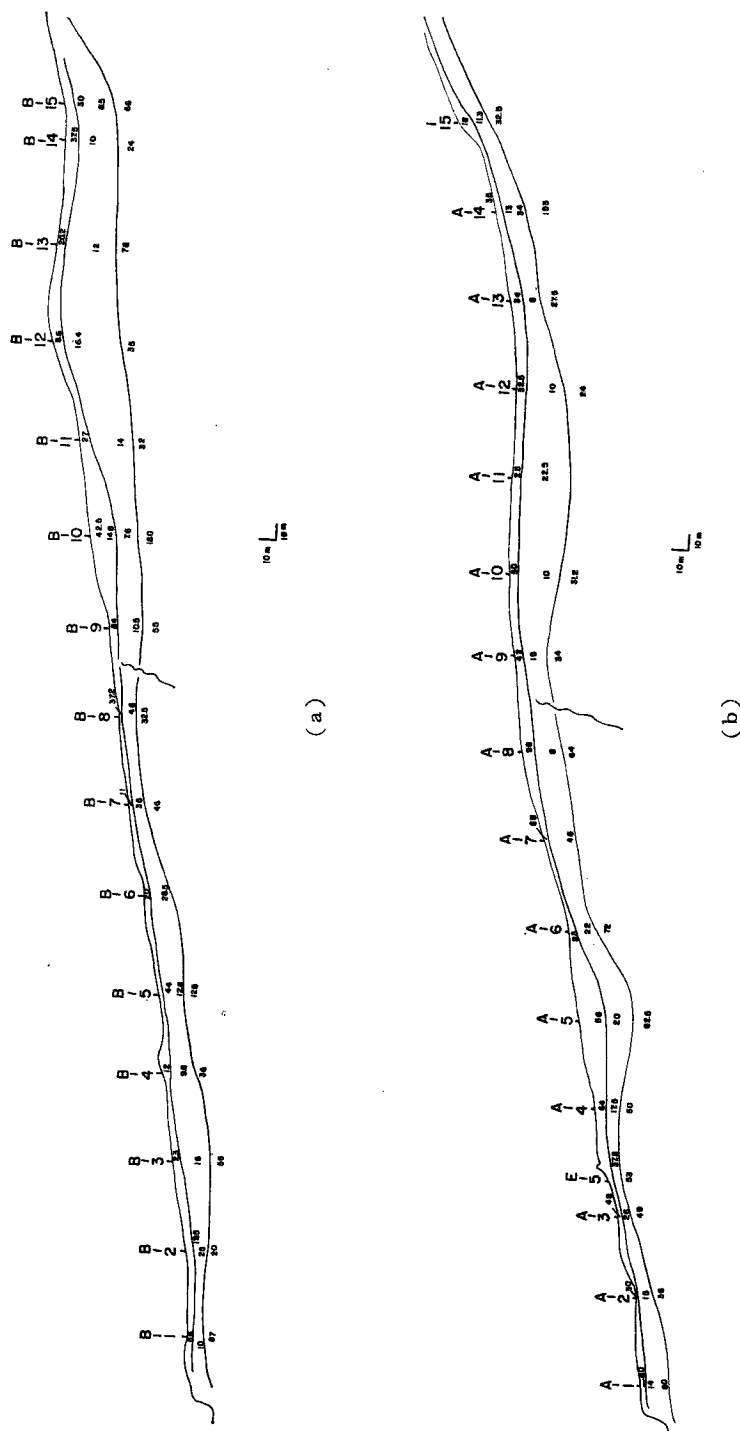
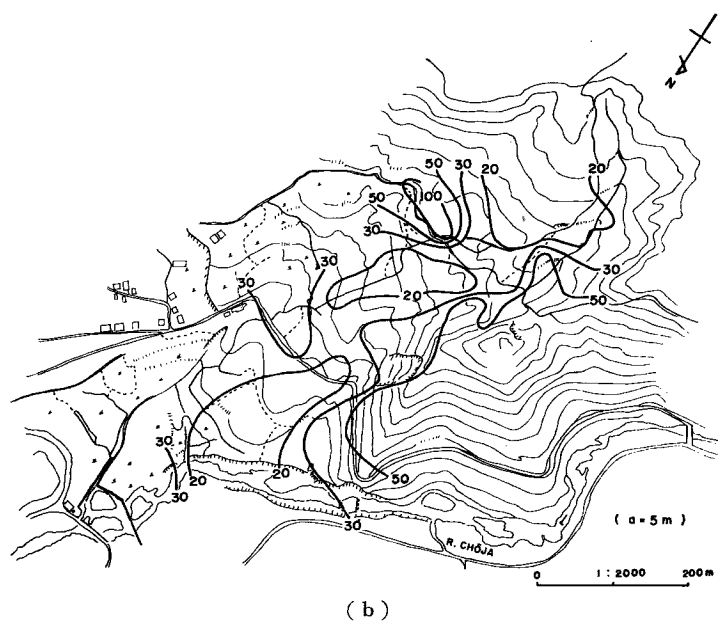
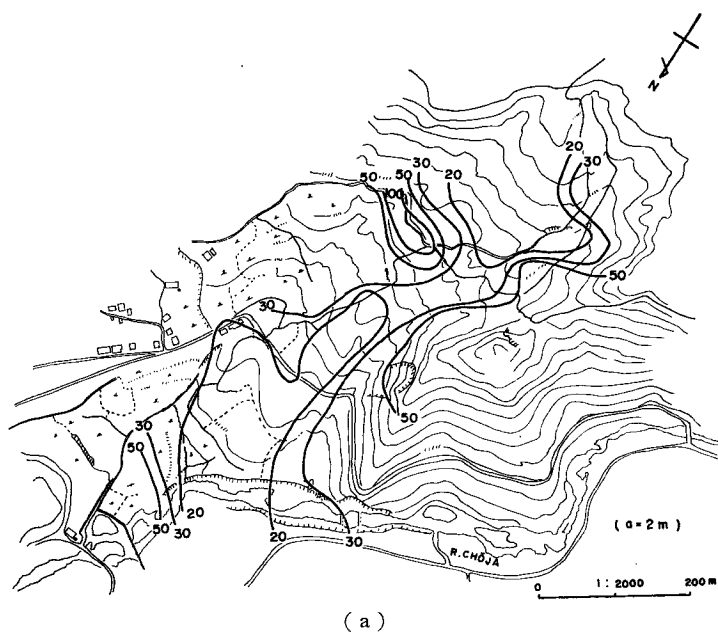
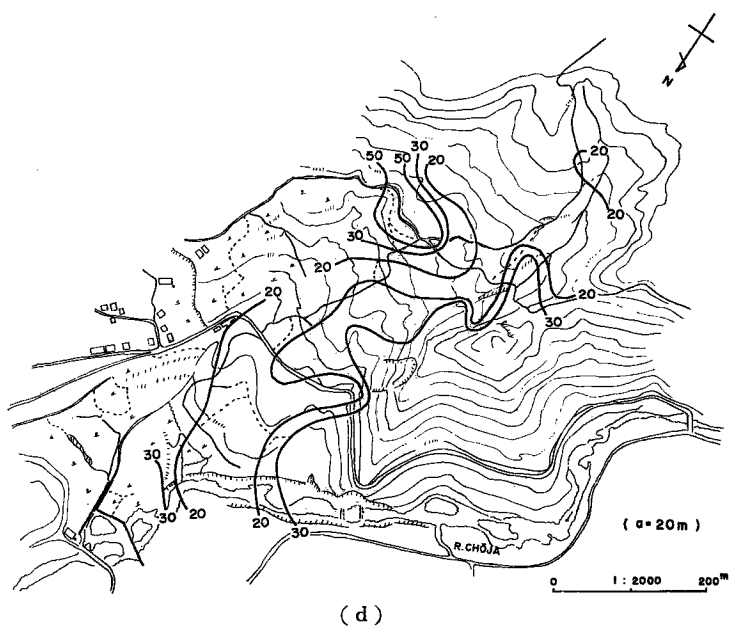
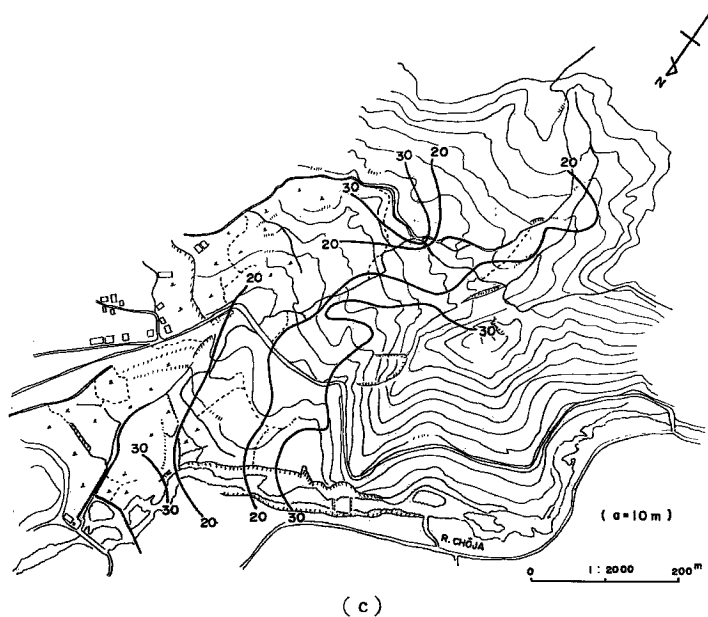


Fig. 2 Supposed diagram of underground profile by electric survey (unit of numbers=k Ω -cm).,





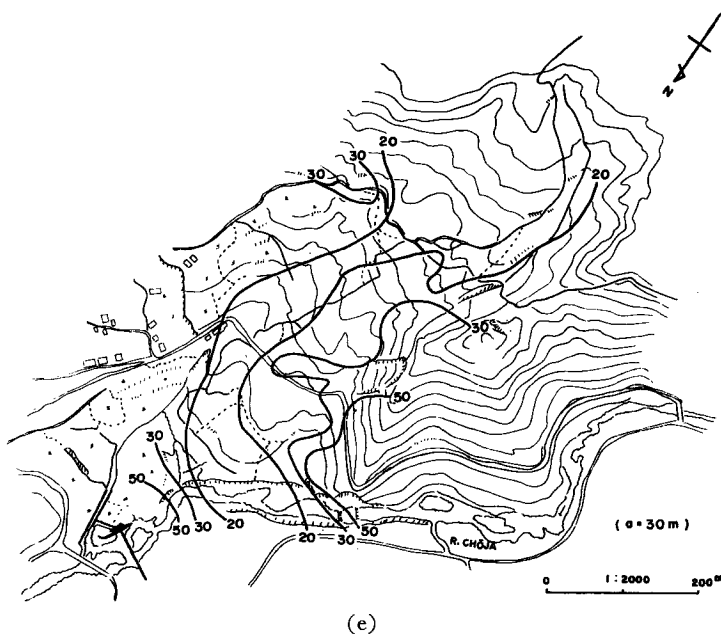


Fig. 3 Horizontal distribution of apparent resistivity values
($a=2, 5, 10, 20, 30$ m) (unit of numbers = $k\Omega\text{-cm}$).

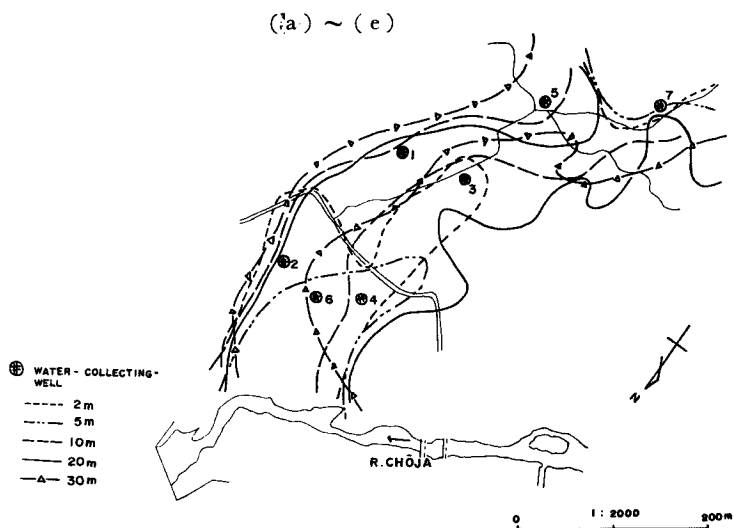


Fig. 4 Horizontal distribution of low apparent resistivity values of $20 k\Omega\text{-cm}$ or lower on 4th Aug. 1964.

示す区域は、電極間隔の如何に拘わらず主として地すべり上部東寄りの地域と、地すべり中央部から長者川に至る部分の東側寄りである。

ここで、第三紀層型地すべり地における電気探査の解釈の方法を破砕帯型地すべり地である当地すべり地に適応すると次の如くなる。地下構造は三層構造を成しており、第二層目が比抵抗値が低いところからこの層がすべり層となっている可能性が強い。そして第三層を一応基岩と考え、その形状より見て両測線の測点 8, 9 付近を境として上部土塊はローティション型すべりを、下部土塊は流動型すべりを起していることが推定される。

一方低見掛け比抵抗値分布図を見ると、当地すべり地の東寄りの上部と中央部より下部にかけて低見掛け比抵抗値の分布地域が存在しているおり、これらの地域は地下水の豊富な場所、風化粘土化の進んだ場所あるいは将来地すべり活動を起す可能性のある場所のいずれかに属するものと推定されるが、当地すべり地の低見掛け比抵抗値が、これら三つのうちどれに属するかは一概に判断出来ない。

しかし現在の時点で考えて見ると、地すべり中央部より下部に存在する低見掛け比抵抗値分布地域については、この部分は他の地域に比べて比較的活発な動きを見せている所であり、又湧水の見られる地域である所から地下水の豊富に存在する地域と考えて差し支えないものと推定する。

4.6 電気探査結果に基づく地すべり諸調査結果

上記電気探査結果の有意性を確かめる目的で当地すべり地内に 9 ケ所調査用試錐を行い、電気探査により推定された地下構造と地質との対比を行うと共に、電気探査により見いだされた不連続帯が何を意味するかを検討した。又試錐孔を利用して地中内部ひずみ計を挿入し、すべり面深度、基岩深度の確認を行った。更に各試錐孔を利用して地下水に関する諸調査を行い、当地すべり地の低見掛け比抵抗値分布地域が何を意味するかを検討した。

電気探査により推定した地下構造断面図に試錐柱状図を併記したのが Fig. 5 a, b である。そしてこの図より、基岩、すべり層の深度の相互の差を算出したものが Table 1 である。これを見ると、電気探査により推定した基岩と試錐柱状図から求めた基岩と 4~4m の差の間である。一方すべり面深度は地中内部ひずみ計の観測により求めたすべり面深度と対比した所、両者の差は +1.7~4.0m の間である。つまり電気探査により地下構造を推定した場合は、基岩、すべり面両者共十分に地すべり地の基岩の形状、すべり層の形状を表現し得ることが判った。又電気探査によりすべり層と推定した層の中にもいくつものすべり面が観測されており、この種の破砕帯型地すべり地にも第三紀層型地すべり地と同様に、すべり層という概念が適応出来そうである。

又 A, B 両測線において A-8 と A-9, B-8 と B-9 との各測点間に不連続な所が存在する。この不連続帯は自然放射能探査及び弾性波探査によっても異常の認められた所で、この付近の地下に岩の強度に破砕された所があるのではないかと考えられた。そこでここに調査用試錐を行った所、この付近が強度に岩の破砕された所であることが認められた。

Table 1 Difference of assumed depth from confirmed depth.

Number of boring hole	B - 2	B - 3	B - 4	B - 5	B - 6	B - 7
Difference of A from B	+ 1.7	- 2.5	+ 4.0	- 2.0	- 4.0	+ 0.5
Difference of C from D	+ 1.7	- 1.0	0.0	0.0	- 4.0	- 2.0

(unit of each numbers=meter)

A: Supposed depth of bedrock by electrical resistivity survey

B: Confirmed depth of bedrock by boring holes

C: Supposed depth of slidesurface by electrical resistivity survey

D: Confirmed depth of slide surface by internal strain meters

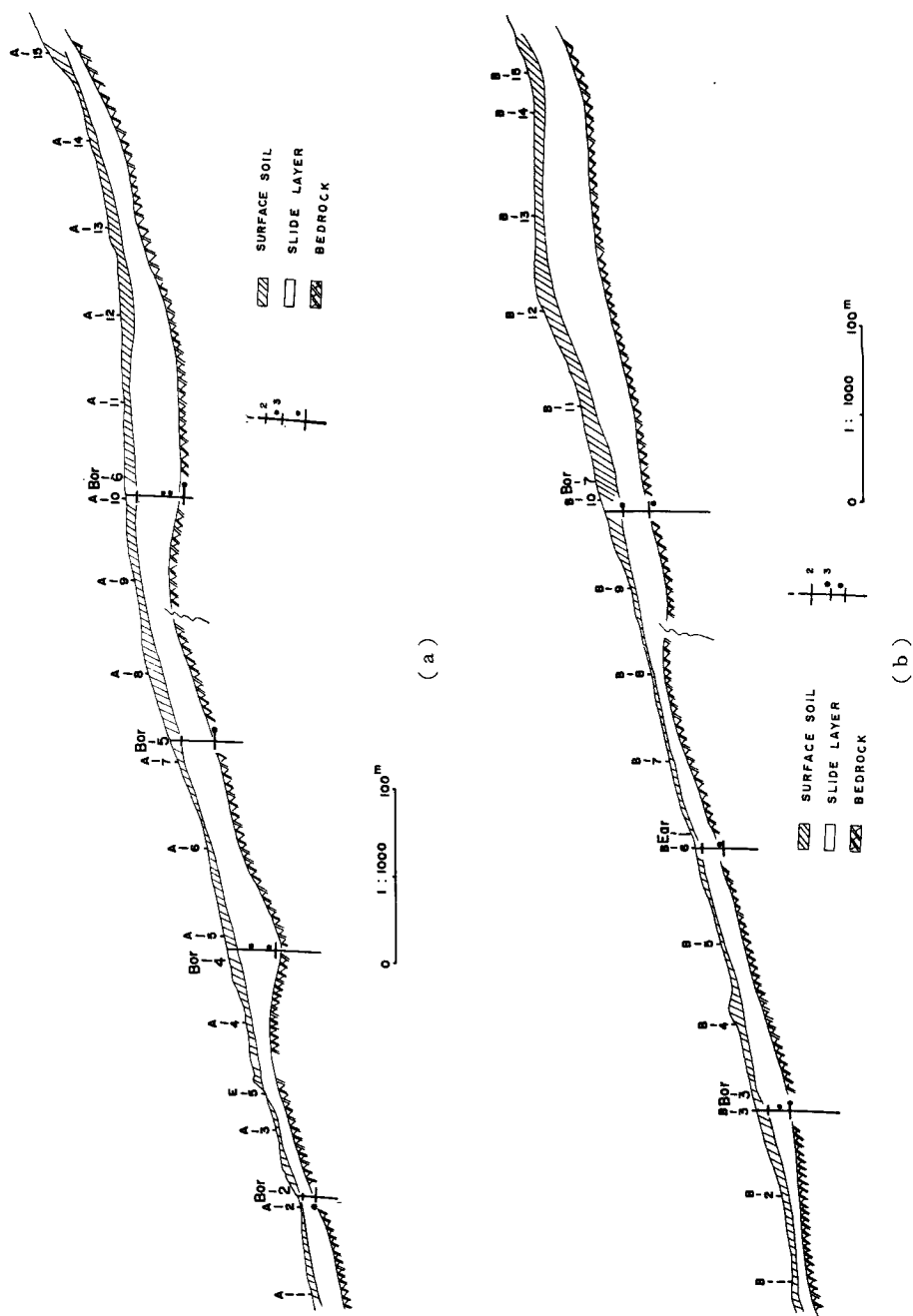


Fig. 5a, b Supposed diagrams of underground profile.

1. Position of boring hole 2. Boundary of each layers 3. Slide surfaces by internal strain meters

一方試錐柱状図と電気探査による地下構造推定図とを対比してみると、電気探査による第一層は試錐柱状図では、蛇紋岩、粘板岩の礫を混入した粘土層となっており、第二層は蛇紋岩及び粘板岩の地層の風化粘土化したものであることが示されている。第三層の基岩と推定したものは、試錐結果では粘板岩の比較的硬質なものであることが確認された。

次に試錐孔を利用して埋設された地中内部ひずみ計によるすべり面観測結果と、電気探査により推定されたすべり層との対比は Fig. 5 a, b に示した如く、初めにすべり層と推定した第二層中及び第二層と第三層の境付近にすべり面が存在していることが示されている。当地すべり地に分布する低見掛け比抵抗値分布地域の意味を調査する目的で、試錐孔を利用して地下水追跡や地下水位観測を行った結果、当地すべり地の低見掛け比抵抗値分布地域は地下水の豊富に集っている場所であることが推定された。この地域に地下水が豊富に集っている事と、粘土化され易い岩が存在しているためにこの付近の地すべり土塊の粘土化が促進されて、地すべり活動を早めさせていることは地表面移動観測によっても認められている。これらの活動を抑えるためには、この地域に集中している地下水を排除する必要がある。そこで当地すべり地の低見掛け比抵抗値分布地域及びその周辺に7基の集水井を設けた。その結果図—4に示す集水井 No. 1, 2, 5, 6, 7 において合計 260 l/min の多量の地下水の排出を見た(1965現在)。これらの集水井はいづれも低見掛け比抵抗値分布地域内に設けられたものである。一方低見掛け比抵抗値分布地域外に設けられた集水井 No. 3, 4 は合計 20 l/min の排水しか得られなかった(1965現在)。これらの結果からも判るように、当地すべり地の低見掛け比抵抗値分布地域は、地下水の豊富な地域であると推定したことが妥当であることが判った。

4.7 電気探査による地下水排水効果の判定

当地すべり地に集水井が設けられ、初期の目的通り多量の地下水を排水出来たが、その排出効果がどの程度上がったかを検討する機会が得られないままに4年を過ぎてしまった。1969年7月長者地すべり地で再び電気探査を行う機会を得たので、地下水排水効果について検討を行って見た。

地下水排水を主体とした地すべり防止工事の効果判定法の一つとして電気探査が大変有効であることは、滋賀県串林地すべり地において実証されている¹³⁾。このことが破碎帯型地すべり地についても云えるかどうかを検討する意味も含んで、4年前と出来るだけ同じ測点を選んで電極配列3極法による電気探査を行った。

その結果を同深法により解析し、各電極間隔における低見掛け比抵抗値を一枚の図面にまとめたものが、Fig. 6 である。

そこで今回の探査結果と前回の探査結果 (Fig. 4) を比較検討すると次の如くなる。前回は地すべり末端部に大きく広がっていた低見掛け比抵抗値分布地域が今回は同じ末端部でもずっと北東に移っている。又中央部においても前回は各電極間隔に統一性がなく、かなり広い地域に広がっていた低見掛け比抵抗値分布地域が今回は地すべり東部に集中している。これらの原因としては次のことが考えられる。

中央部の低見掛け比抵抗値分布地域については、前回の調査結果に基づいて施工された集水井にそれまで広く広がって流動していた地下水が集まったために、集水井付近を除いては地下水減少により土塊の含水率が低下し、それだけ見掛け比抵抗値が上昇した。その結果、低見掛け比抵抗値の分布地域は集水井の存在する地すべり東部に集まったと考えられる。一方地すべり末端部における低見掛け比抵抗値分布状態の変化については、地すべり地上部より滲透して来た地下水は前回まではそのまま地すべり末端部に至り、地すべり活動を続行又は促進させていた。ところがその後地すべり東部及び県道北部に設けられた集水井により殆んど地下水が排出されてしまうため、地すべり末端部へは地下水の流下が殆んどなくなってしまった。このために、県道北部の集水井付近より末端部にかけての地すべり土塊の含水率が低下して、低見掛け比抵抗値が見られなくなったものと考えられる。

一方集水井が施工された地すべり東部一帯は、集水井より排水用横穴試錐が多数施工されており、充分にその機能を発揮出来るようにした為に集まった地下水を自然排水しているにもかかわらず、依然として低見

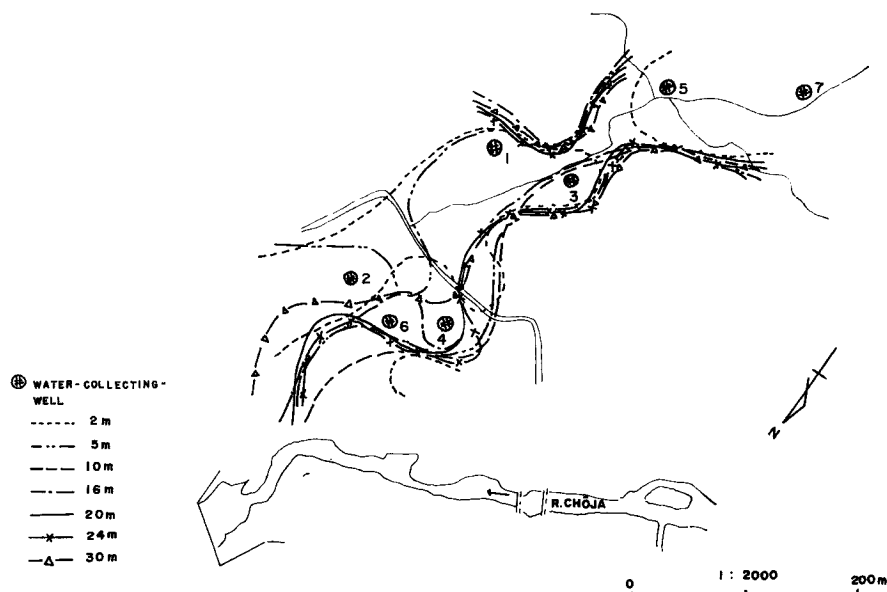


Fig. 6 Horizontal distribution of low apparent resistivity values of $20 \text{ k}\Omega\text{-cm}$ or lower on 26th July 1969.

掛け比抵抗値分布地域になることに甘んじている。しかしこのことは従来この地域は水が集まり易いと推定された地域であり、もし集水井が施工されなかったならば、より低い見掛け比抵抗値を示す地域になったと考えられる。それが前回と同じ程度の低見掛け比抵抗値を示すにとどまったことは施工された集水井の排水効果が順調に上がっていることを示していると考えたい。

4.8 ま と め

破砕帯型地すべり地では比較的第三紀層型地すべり地に近い挙動を示す長者地すべり地において、先に立てた仮説が当地すべり地に適応出来るものとして、諸地すべり調査に先行して電気探査を行った。その探査結果に基づいて、試準孔による地下構造調査、地中内部ひずみ計によるすべり面調査を行うと共に、地下水調査等を行った。その結果地下構造については基岩の存在深度をある程度で推定出来、その地すべり地の基岩の形状を充分表現出来ることが判ると共に、第三紀層地すべり地におけるすべり層という概念もこの種の地すべり地に適応出来ることが、地中内部ひずみ計の観測結果により示された。

又同深法による低見掛け比抵抗値分布地域は、地すべり土塊の風化粘土化が促進されている地域、地すべり活動の激しい地域を示すと共に地下水の集まり易い地域であることも示された。このことは対策工事として実施された集水井によっても確かめることが出来た。

一方地下水排水工事に重きを置いた地すべり防止工事の効果判定に関しては、第三紀層型地すべり地の場合と同じように、電気探査が有効な効果判定方法の一つであることが判った。

以上長者地すべり地のような破砕帯型地すべり地においても、電気探査は充分信頼出来る種々の情報を提供してくれることが判ると共に、この種の破砕帯型地すべり地においても、第三紀層と同じように電気探査の有意性が存在する可能性があることが見い出せた。

5. 和田地すべり地に適応した例

5.1 和田地すべり地の概要

和田地すべり地は高知県長岡郡大豊村和田に位置している。地質的には御荷鉾緑色岩類地帯の北縁に属し

ており、この種の地すべり地によく見られる如く当地すべり地でも標高 730 m 付近にまで水田が開かれている。地形的には研究対象範囲内では末端部が標高 490 m にあり、それより標高 545 m の農道までが流動型地すべりを起しており、農道より標高 580 m までが圧縮帯となっている。標高 580~590 m の間が緩傾斜となっており、相当大的な水田が形成されている。標高 590~620 m の間はやや急傾斜となっており千枚田が形成されている。620 m 付近に地すべり上端部が存在していると考えられる。これより上部では標高 630~660 m と 700~730 m の所に緩斜面があり、大きな水田が開かれている。標高 730 m の所になんとも水量の多い湧水点が存在し、これより下方に数多くの湧水点を見ることが出来る。(Fig. 7)

5.2 調査範囲及び調査方法

当地すべり地においても長者地すべり地と同様に全ての地すべり調査に先行して電気探査を行い、地下構造の推定、地下水の動静についての調査を行った。調査範囲は和田地すべり地全域のうち、A, B ブロックで調査方法は Fig. 8 に示す A~G まで 7 測線 41 点を設けた。

電極配列方法は 3 極法を用いた。使用した測定器は横河電機製作所製の大地比抵抗測定器 L-10 型である。測定電極間隔は最大 50 m とした。

5.3 地下構造推定結果

電気探査 3 極法により得られた測定結果を ρ_a - a 曲線に表わし、標準曲線を用いて解析した結果を各測線断面図に記入し地下構造を推定した。各測線断面図のうち今回特に議論の対象となる A ブロックの A 測線についてここにのべる。Fig. 8 に地下構造推定図を示す。

この測線は A ブロックを縦断するように設けたもので、電気比抵抗値的に見ると概ね三層構造を成してい

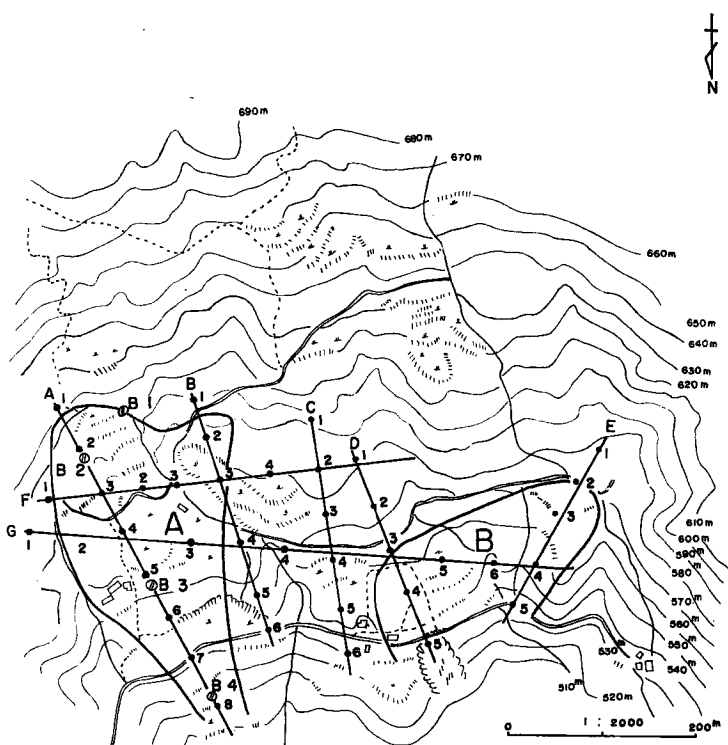


Fig. 7 Topographical map of Wada landslide area (including location of measuring points of electric survey).

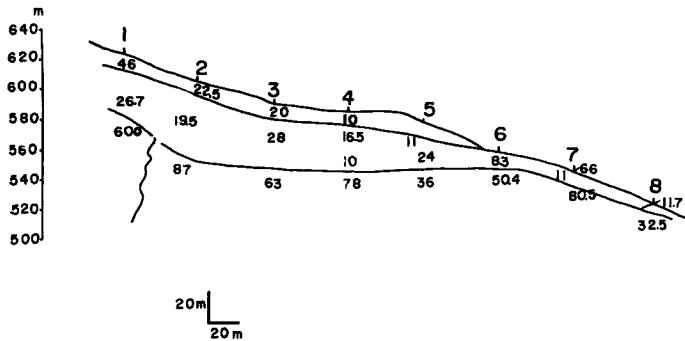


Fig. 8 Supposed diagrams of underground profile by electric survey (unit of numbers= $k\Omega$ -cm).

ることが示されている。第一層は $10 \sim 46 k\Omega$ -cm の比抵抗値を示す土塊より成っており、第二層は $8.3 \sim 28 k\Omega$ -cm の比抵抗値を示す地層より成っている。その下に測点 A-1 のみ $600 k\Omega$ -m の高比抵抗値を示すものが存在し、測点 A-2 以下では $32.5 \sim 80.5 k\Omega$ -cm の比抵抗値を示す地層が存在している。第三層において、測点 A-1 と A-2 以下とは電気比抵抗的に異っていることが示されている。地すべり現象を起していると推定される地層は、第二層目以浅である。その層厚は測点 A-2 付近で一番厚く $58 m$ にも達しており、農道付近(測点 A-7)では層厚 $10 m$ 程度になっている。測点 A-6 付近より下部は流動型地すべりを示している所で、比抵抗値も他の測点のそれに比べて低い値を示している。地すべり地全体の傾向としては、当地すべり地の地下構造は概ね三層構造を成しており、第一層が $6 \sim 84 k\Omega$ -cm、第二層が $8 \sim 44 k\Omega$ -cm、第三層が $32 \sim 80 k\Omega$ -cm と $108 k\Omega$ -cm 以上の各比抵抗値を示す地層より成っている。

5.4 同深法による解析結果

次に電極間隔 $a=2, 5, 10, 16, 20, 30, 42, 50 m$ における各測点の見掛け比抵抗値を印した平面図上に記入し、等見掛け比抵抗値図を描いて見た。(Fig. 9 a~h)

$a=2 m$: A ブロックの全域及び B ブロックの測点 C-5 付近と E 測線付近に低見掛け比抵抗値 ($20 k\Omega$ -cm) 以下を示す地域が存在している。

$a=5 m$: $a=2 m$ の場合とほぼ同じ場所に低見掛け比抵抗値が分布している。

$a=10 m$: 低見掛け比抵抗値を示す地域が、A, B 両ブロック全体にわたって分布している。

$a=16 m$: 低見掛け比抵抗値分布地域が少しせまくなり、特に A ブロックの南方に高見掛け比抵抗値を示す部分が現われて来た。

$a=20 m$: $a=16 m$ とほぼ同じ分布状態である。

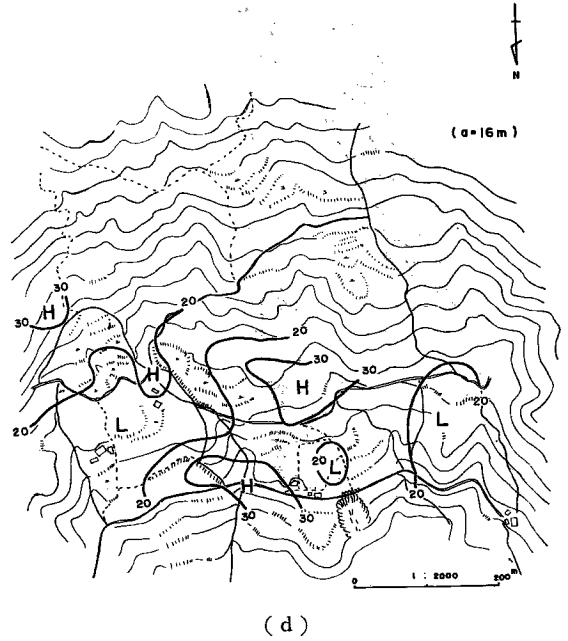
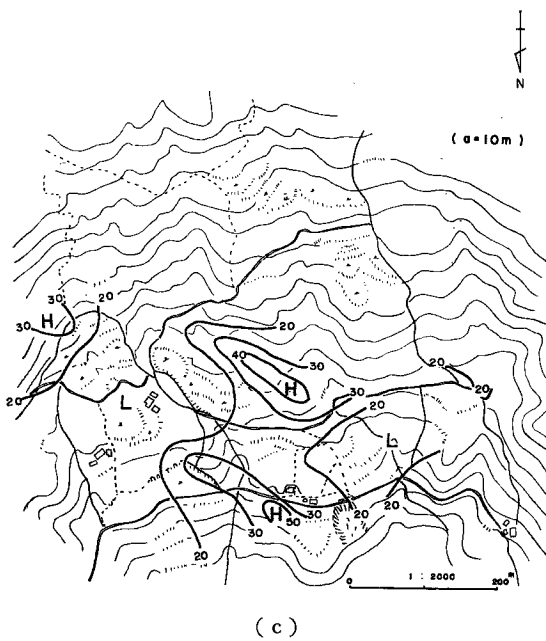
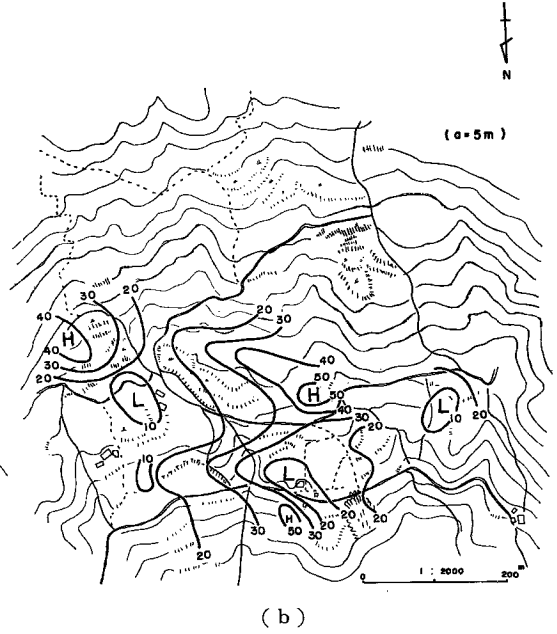
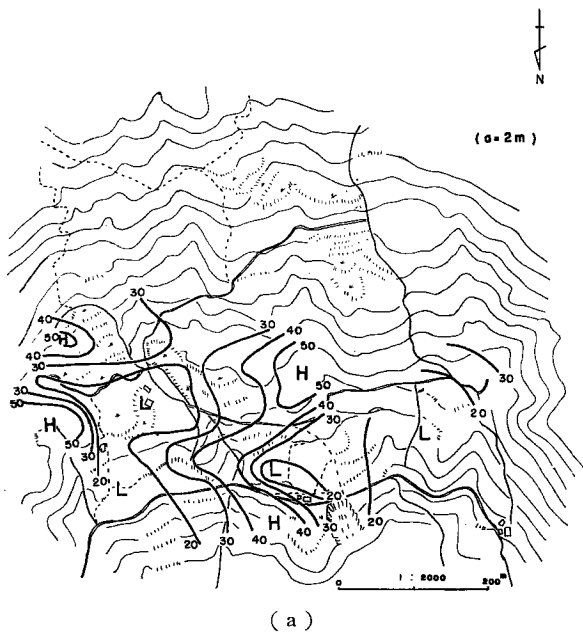
$a=30 m$: 低見掛け比抵抗値分布地域は、A ブロックの中央部と B ブロックの東端、西端の3ヶ所にしぼられて来ている。

$a=42 m$: 低見掛け比抵抗値分布地域は、A ブロックを結ぶ B ように測点 B-5, C-5, D-4 付近に存在し、他は A ブロック南部に存在している。

$a=50 m$: 低見掛け比抵抗値分布地域は、 $a=42 m$ の場合とほぼ同一である。

各電極間隔における低見掛け比抵抗値分布地域を一枚の図面にまとめたものが Fig. 10 である。

これを見ると電極間隔 a が小さい間は、A, B 両ブロック一一致した地域に低見掛け比抵抗値が存在するが、 a が大きくなると低見掛け比抵抗値分布地域は A B 両ブロックの軟弱部と思われる地域に分離して存在しており、更に電極間隔が大きくなると A ブロックの南部と A, B 両ブロックを結ぶ付近とに集中して存在している。



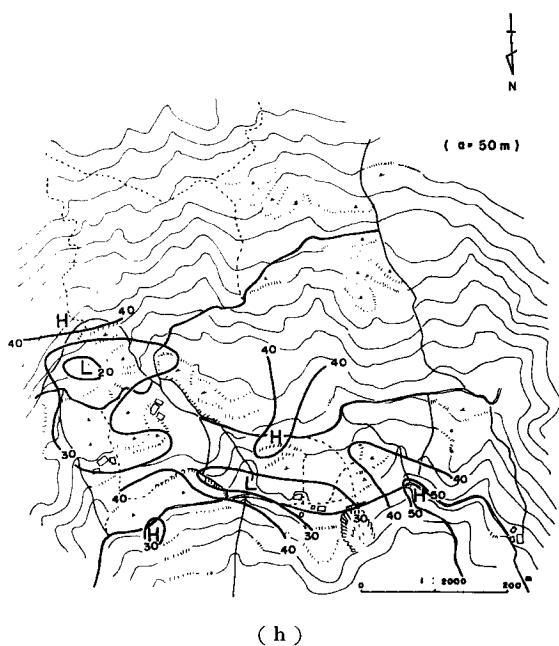
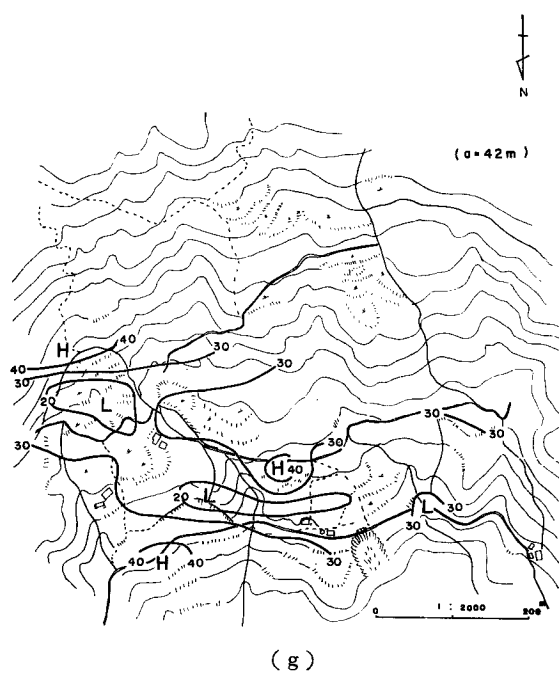
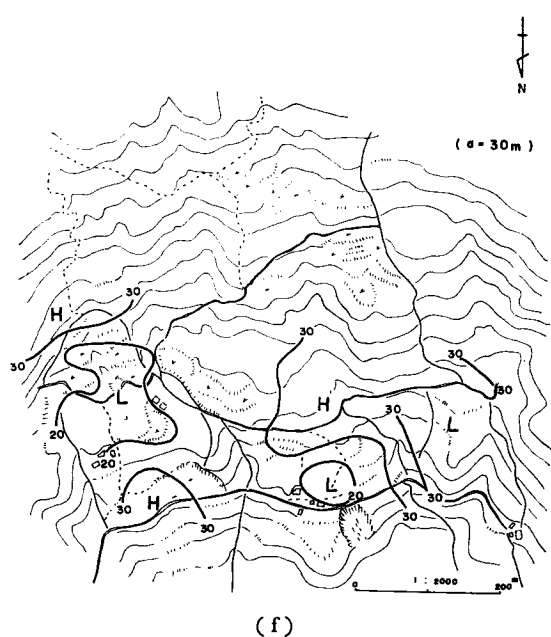
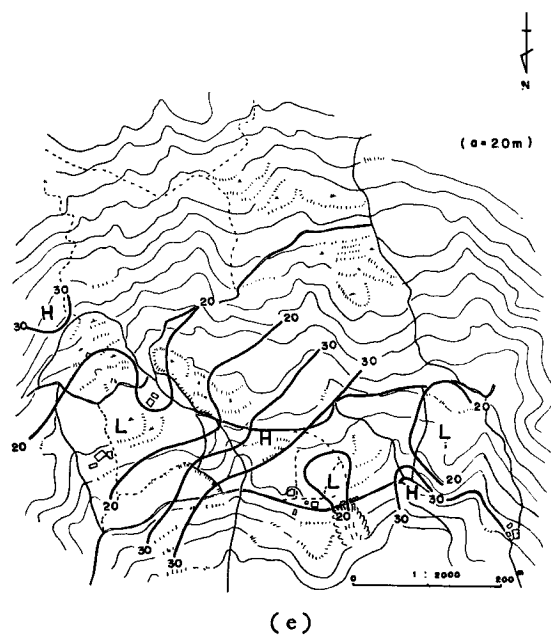


Fig. 9 Horizontal distribution of apparent resistivity values
($a=2, 5, 10, 16, 20, 30, 42, 50$ m) (unit of numbers= $k\Omega\cdot cm$).

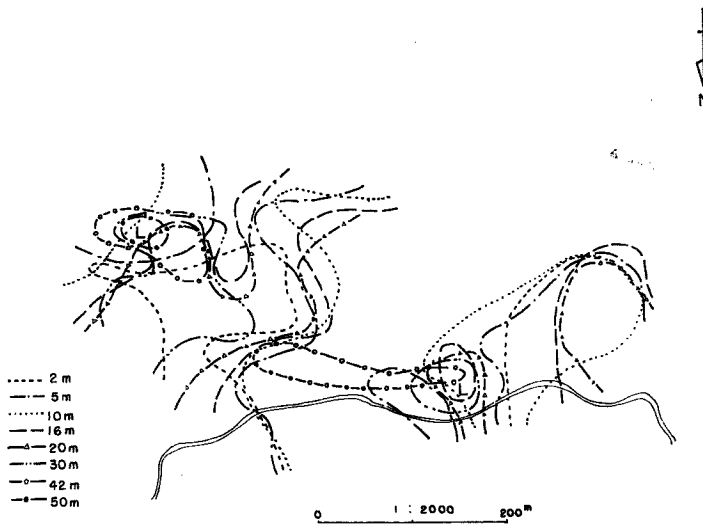


Fig. 10 Horizontal distribution of low apparent resistivity values of 20 kΩ-cm or lower.

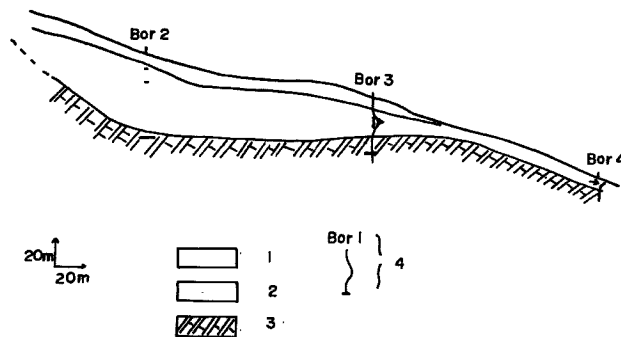


Fig. 11 Supposed diagram of underground profile
1. Surface soil 2. Slide layer 3. Bedrock
4. Assumed form of internal strain meters

5.5 電気探査総括

長者地すべり地に適応した仮説を当地すべり地に導入して、電気探査結果を検討して見る。

地下構造については第三層を仮想基岩と見做すことが出来、その基岩形状は Fig. 11 に示すようになると考えられる。一方同探法の解析結果による低見掛け比抵抗値分布地域は地下水の豊富な場所か又は風化粘土化の進んだ場所、将来地すべり活動を起す可能性のある場所であるとされている。当地すべり地の低見掛け比抵抗値分布地域がこのうちどれに属するか判断に苦しむが、地下水の比較的豊富な地域か、地すべり土塊の風化粘土化の進んだ地域のいずれかに属する可能性が強いと考える。

5.6 電気探査結果に基づく地すべり諸調査結果

上記電気探査結果により推定された地すべり面、基岩深度を確認するために地すべり土塊の移動状況を知る目的で、Aブロック内に3本の調査用試錐を行いこの孔を利用して地中内部ひずみ計を埋設した。

電気探査による地下構造推定図によると、測点 A-2 付近に最深部を持ったローテーション型地すべりと、測点 A-6 以下の流動型地すべりの二つの部分より成っていることが推定された。そこで基岩を確かめる目

的で測点付近、A-2 付近 A-5 付近及び A-8 に試錐を行った。その結果地すべり土塊と推定されたものは、主として御荷鉾緑色岩類の礫及びその粘土化したものよりなっており、基岩と推定されたものは輝緑岩であることが判った。そして試錐結果によると緑色岩類の礫及び粘土化したものの層と基岩とは、はっきりした違いがあり以前に基岩の上に崖錐が堆積して風化粘土化したものと推定された。

次に地中内部ひずみ計の記録によると、測点 A-2 付近に埋設したものは厚い層すべりを行っているようで、測点 A-5 付近に埋設したものは深度17 mを中心として、 ± 4 m の巾を持った土塊が押し出していることが示されている。測点 A-8 付近に埋設されたものは 9~11 m 付近より上部において流動すべりが起りつつあることを示している。(Fig. 11)

以上の調査結果を見ると、電気探査により推定した地すべり層及び基岩形状に関する事柄が裏付けられたことが判る。

5.7 推定された移動機構及び防止工法

和田地すべり地において電気探査を行い、その結果に基づいて地下水調査、試錐調査を行ったので、これらを総括して当地すべり地特に A ブロックの移動機構を推定すると共に電気探査の有意性について考察する。

電気探査結果によると、A ブロックは上部地すべり土塊と下部地すべり土塊の二つの異った移動機構を有する部分よりなっている。上部地すべり土塊は推定すべり面 30~50 m で、同深法による解析結果においても相当深部まで軟弱化されていることが示されている地区である。一方下部地すべり土塊は推定すべり面が 5~8 m と浅く、しかも多量の水分を含み土塊が流動化している地区である。この電気探査結果に基づいて試錐調査、すべり面調査を行った。それによると地すべり土塊は御荷鉾緑色岩類の破碎粘土化されたものより成っており、一部に同岩類の巨礫をはさんでいる。地中内部ひずみ計観測結果によると、上部土塊は厚いすべり層を有した層すべりをしており、下部土塊は浅い流動すべりをしていることが示されている。そして上部土塊と下部土塊の中間付近では押し出し現象を起していることを示し、すべり面深度は上部土塊は試錐孔の掘進長不足のため確認出来なかったが、中間土塊(県道付近)では 17m 付近を中心とした ± 4 m の押し出し現象を示し、下部土塊は 10 m 以浅であることが判った。これら各すべり面深度は電気探査による推定すべり面深度にほぼ一致するものである。(Fig. 11)

次にこの付近の地下水調査結果¹⁴⁾によると、上部土塊では湧水は測点 A-6, A-7 付近に多く、県道付近は特に水による軟弱化が進み常に土塊の崩落を見る所である。下部土塊は湧水点が数多く存在し非常に土塊が軟弱化しており、測点 A-8 の下方では完全に土塊が流動化しているのが見られる。当地すべり地には水質、水温等により判断すると深層地下水と浅層地下とが存在するが、現在の地すべり活動に大きく関与しているのは浅層地下水であることが推測されている。以上の各調査結果を統合して、当ブロックの移動機構を推定すると次の如くなる。(Fig. 12)

豪雨、大雨等の降雨は直ちに粗な地すべり土塊中に滲透し、地すべり土塊中を流下して末端部に湧出し、その周辺の土塊を著しく軟弱化させて流動を起させる。この下部土塊の流動により安定喪失した上部土塊の末端部が下部土塊の流下につれて流動又は崩壊する。末端部が安定を失い移動すれば当然土塊全体の安定を徐々に失うことになり、上部土塊も移動を始める可能性を持つようになる。つまり平常時は地下水により土塊の風化、粘土化は進行するが地すべり土塊が活動を起すほど不安定にはならない。従って大きな活動は考えられないが、豪雨、大雨の如く過剰な水が供給された場合は、下部土塊の流動化が激しくなり安定を失って、それが誘因となって大きな土塊移動を生ずる心配はある。

以上の移動機構より考えると、地すべり防止対策としては地すべり土塊内の地下水を不用に貯めないことと、地表水は地すべり地内に入る前に出来るだけ排除することが考えられる。そこで高知県当局により地下水を排除する目的で、電気探査により地下水の豊富な地域か、風化粘土化の進んだ地域と推定された場所に向けて数本の横穴排水用試錐が施工された。その結果これらの横穴排水用試錐から総計 80l/min. の地下水

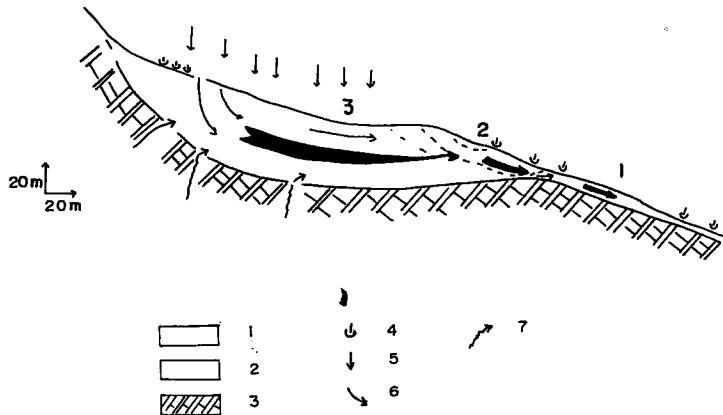


Fig. 12 Supposed moving mechanism diagram of Wada landslide area
 1. Surface soil 2. Slide layer 3. Bedrock 4. Spring 5. Rainfall
 6. Permeant water 7. Underground water

が排水された。この横穴排水用試錐を行ったのが渇水期の二月であったにもかかわらず、これだけの地下水を排水することが出来たので、降雨期には相当の効力を発揮することが期待される。

この横穴試錐により当地すべり地の低見掛け比抵抗値分布地域は地下水の豊富な場所であることが実証された。

5.8 ま と め

以上述べた如く、御荷鉾緑色岩類地帯の地すべりとして和田地すべり地を選定し、筆者が立てた仮説に従って他の地すべり調査に先行して電気探査を実施し、その探査結果に基づいて種々の調査を行った。その結果、和田地すべり地においても前述した長者地すべり地と同様に電気探査は種々の有意義な資料を提供してくれることが判った。

つまりおおよその地すべり土塊の厚さ、基岩の形状が推定出来ると共に同深法により風化粘土化の進んだ地域、あるいは地下水の豊富な地域の場所及びその深度が推定出来る。更にこれらの調査結果を各種の地すべり調査並びに地すべり防止対策工事計画の重要な基礎資料として利用出来ることも判った。

6. 結 語

数ある破碎帯型地すべり地の中から御荷鉾緑色岩類地帯に属する和田地すべり地、秩父累帯黒瀬川構造帯に属する長者地すべり地を選んで、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検討を行って来た。その結果電気探査を行うことにより、地すべり層及び基岩形態の概略、地下水の賦存状態、ある程度の移動機構の推定、更に地下水に重点をおいた地すべり防止対策工事の効果判定等に関する有意義な資料が得られることが判った。そこで破碎帯型地すべり地においても、電気探査の有意性は存在するものと考えた。従って破碎帯型地すべり地において諸地すべり調査を行う場合にも、まず調査予定地すべり地域全体に電気探査を実施して、その地すべり地の上記事項に関する概略の知識を得る。そしてその上で各地すべり調査及び地すべり防止対策工事を行えば、より効果的な調査並びに防止対策工事を実施することが出来ると共に、あまり多くない費用を有効に使用出来るのではないかと考える。

筆者は電気探査の有意性を更に確かめるために、高知県下の破碎帯型地すべり地で各地質構造帯に属する地すべり地12ヶ所において電気探査を行った。その結果に基づいて他の地すべり諸調査及び地すべり防止工事が実施されたが、それらの結果を見ると種々の形で電気探査の有意性が存在していることが認められた。

数多くの破碎帯型地すべり地で電気探査を行った結果、いくつかの興味ある事柄が認められたので、これらについては又改めて述べて見たいと考えている。

7. 謝 辞

本小論を書くに当り、終始懇篤な御指導を賜りました山口真一教授に深く謝意を表しますと共に、資料収集並びに現地調査に当りましては、種々の適切な御便宜、御助言を頂きました高知大学農学部栃木省二教授に心からの謝意を表します。

高知県砂防課及び県下土木出張所の方々には、現地において大変お世話になると共に、地元の方々にも数多くの手を煩わせましたのでここに記し謝意を表します。現地の資料収集に当っては高知大学農学部大学院生及び学部学生諸君の手を煩わすと共に、当部門の中川鮮助手、小西利史技官に負う所が大きい。ここに記し謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 山田務名：新潟県能生谷村柵口地之りの地球物理学的地下探査法（地震法及び電気抵抗法）による調査について，防災研究所報告，No. 2, 1949, 11. pp. 101~105.
- 2) 百瀬寛人：鮎喰川流域における地之りについて，防災研究所報告 No. 2, 1949. 11. pp. 106~112.
- 3) Takada, Y: A Geophysical Study of Landslides, Bull. Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ. Vol. 18, Part 2. No. 137, Dec. 1968, pp. 3~58.
- 4) 新潟県：地すべり調査報告書（松之山地すべり）1964, 3.
- 5) 山口真一・高田雄次・竹内篤雄：御殿山地すべり地の移動機構，京都大学防災研究所年報，第9号，3. pp. 339~358.
- 6) 山口真一・高田雄次・竹内篤雄・那倉明通：柿影地すべり地の特性，京都大学防災研究所年報，第9号，1966, 3. pp. 359~373.
- 7) 山口真一・高田雄次・竹内篤雄：串林地すべり地について，京都大学防災研究所年報，第12号B，1969, 3. pp. 25~45
- 8) 山形県土木部砂防課：大網地すべりについて，1968, 10.
- 9) 山口真一・高田雄次・竹内篤雄・古谷尊彦：上仰木地すべり地について，京都大学防災研究所年報，第10号A，1967, 3. pp. 467~477.
- 10) 小出博：日本の地すべり，1955.
- 11) 栃木省二：長者地すべり調査について，建設図書，Vol. 9, No. 2, 1966, 2, 3. pp. 50~58.
- 12) 灘波誠二：仁淀村長者郷土誌，昭38, 2.
- 13) Yamaguchi, S. and Y. Takada, A. Takeuchi and A. Nakagawa: Determination of the Effectiveness of Landslide Prevention Engineering Works Using the Electrical Resistivity method. Bull. Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ, Vol. 19.
- 14) 防災研究協会：和田地すべり調査報告書，1968, 3.