

電気探査による地すべり防止工事の効果判定について

—串 林 地 す べ り 地—

山 口 真 一・高 田 雄 次

竹 内 篤 雄・中 川 鮮

DETERMINATION OF THE EFFECTIVENESS OF LANDSLIDE PREVENTIVE ENGINEERING WORKS USING THE ELECTRICAL RESISTIVITY METHOD

—Kushibayashi Landslide Area—

By *Shin'ichi* YAMAGUCHI, *Yuji* TAKADA, *Atsuo* TAKEUCHI
and *Akira* NAKAGAWA

Synopsis

We carried out repeated surveys, using the electrical resistivity method, at each stage of a series of landslide preventive engineering works, as one means of making it possible to operate the necessary works in the most effective way when landslide preventive engineering works were required for the specific purpose of draining the underground water contained in the landslide area. Besides, by carefully weighing our surveyed results obtained at each stage of the preventive engineering works, we proceeded to determine the merits and demerits, or effectiveness, of the preventive engineering works at each given stage of operation, and we tried to utilize our surveyed results obtained at given stages in deciding whether there is any necessity of making any adjustments or modifications for forthcoming preventive engineering works.

1. 序

地すべり防止工事を実施した後、その防止工事の効果がどの程度上がっているかを調査研究する事は、今後の地すべり防止工法に貴重な資料を提供するという意味において非常に重要でありかつ興味ある問題である。この問題を研究する方法の一つとして、地すべり防止工事に関する基礎資料を得る目的で実施される地すべり調査、観測を地すべり防止工事施行後も継続して行い、得られた資料からその防止工事の効果を判定する方法がある。勿論その地すべり観測計器等が地すべり防止工事の邪魔になる場合には、防止工事によりその観測計器が破損及び著しい変動を加えられないように保護する必要がある。又電気探査、地震探査、地温探査等を実施する際にも、防止工事前と同じ測点で諸探査が実施出来るように配慮する必要がある。

筆者等は滋賀県大津市雄琴町の串林地すべり地において、地すべり調査と地すべり防止工事に関する資料を得ると共に上記の問題を研究する目的で電気探査を実施し、更に防止工事進行並びに防止工事終了後において計4回にわたり同探査を実施した。その結果電気探査法は地下水排除を目的とした地すべり防止工事の効果判定法として、非常に有用な手段である事を見出したのでここにその研究成果を報告する。

2. 串林地すべり地の概要

串林地すべり地の概要を述べる。同地すべり地は大津市の北部、琵琶湖西岸に位置し同市堅田から、阪本に至る高度約70mの直線的崖線で限られる志賀丘陵の東に位置している。(Fig. 1) この志賀丘陵は湖成段

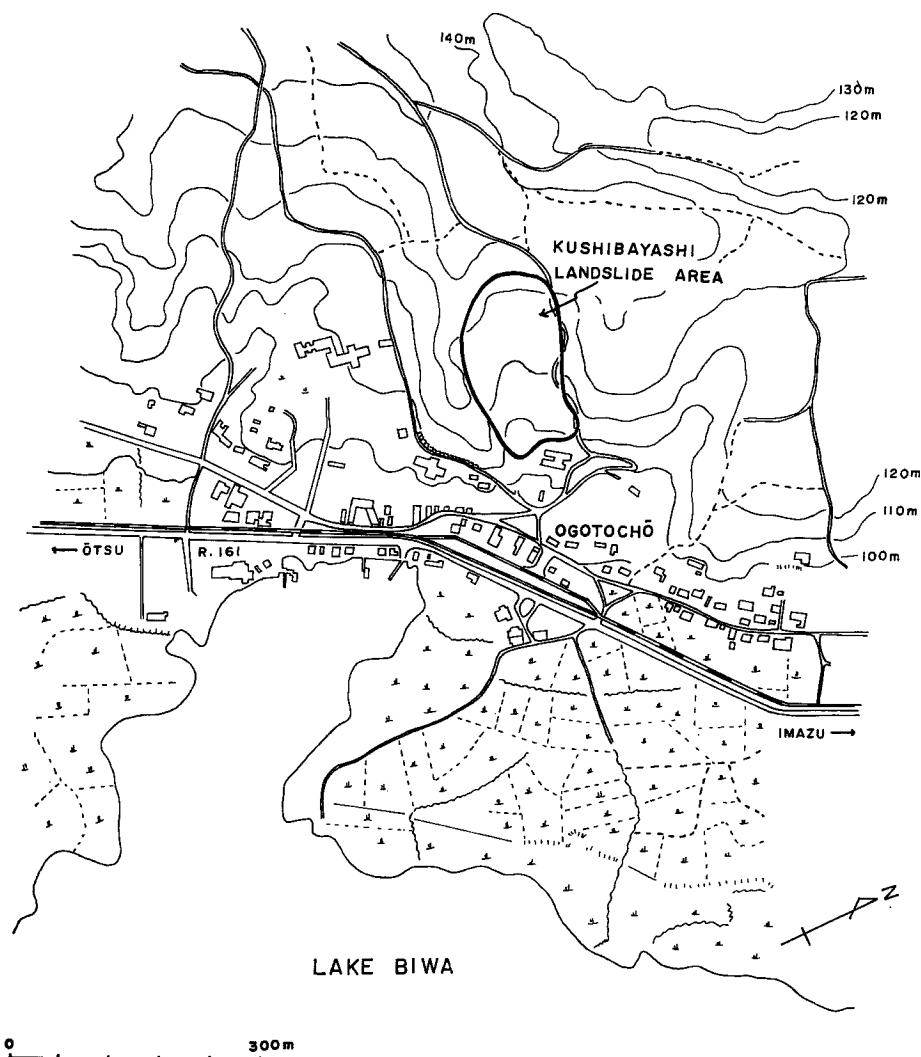


Fig. 1 Index map.

丘の原面を部分的に残し、まだ丘陵化の過程にあって丘陵側面にいわゆる崩壊性地すべりの点在している所である。地質は古琵琶湖層から構成されており、主としてシルト質粘土でところにより砂層を狭む。

同地すべりは1967年6月22日に発生した。この地すべりの発生は、一般に知られている地すべり発生状況とは異つたものであった。つまり同年4月中旬より雨らしい雨もなく、琵琶湖の水位も-35cmにまで低下するという渇水状態にある時に発生した。この点だけを取り上げても大変興味ある地すべり地である。そこでこの地すべりの発生原因を究明し、かつ地すべり防止対策を立てる目的で同地すべり地域において、地質、地形調査をはじめとして地球物理学的諸調査を実施した。その結果、素因としては不安定な谷床と軟弱化された地層の存在が考えられ、誘因としては地下水にその因を求める事が出来た。地すべり移動機構としては、地下水により地盤が軟弱化されて正に地すべりが発生するか否かという臨界状態にある時に、一寸した別の誘因(地すべり発生直前に地すべり地内において、ブルドーザーによる宅地造成が行われていた)。が作用し

たが為に、第一次活動期として急激な地すべり土塊の移動が生じた。続いて第二次活動期としてその急激に活動した土塊に多量の地下水及び降雨、下水等の地表水が供給された為に、ゆっくりとしたクリープ活動を続けている事が判った。そこで当地すべり地の効果的な地すべり防止工事は、地下水の有効的な排除と地表水の排水処理が考えられた。この理由としては地すべりの第二次活動であるクリープ活動を止めると共に、当地に豊富に存在する地下水により地盤が軟弱化されて、再び急激な地すべりが発生しないようにするためには、地下水並びに降雨、下水に基因する地表水の即時排除が有力な工法であると考えられたからである。

この調査結果に基づいて滋賀県当局は地下水排除の為に集水井内（2基、並びに、地下水排除を促進するための集水井）の横穴排水ボーリング、地表面付近の地下水を排除する為に横穴ボーリング、更に地表水排除を目的とした地表排水路等を施工した。現在地すべり活動は殆んど停止し、防止工事の効果がはっきりと認められる。

この防止工事を行うに当っては、防止工事施工前並びに防止工事施工中各工程毎に地下水の動静を常に把握し、その排水状況に応じてその後の工事を進めることが効率のある防止工事につながるとして、随時電気探査が実施されその解析結果に基づいて防止工事の効果を判定しながら更に補足工事を行って、防止工事を完成させる手法を取った。

3. 調査地域及び調査方法

3-1 調査地域

地すべり地の地下構造推定並びに地下水の動静をさぐる為に実施した電気探査の調査地域は、Fig. 2 に示す如き場所で、測点数は33点である。但し第四回目（1969, 4, 24）の調査時には、当地すべり南西部の地山切り取り部にも調査範囲を広げた為に39点になっている。

3-2 調査方法

電気探査は電極配列3極法を用い、測定電極間隔は最大 20 m とした。遠方電極は当地すべり地の北西端から約300 mの地点に設定した。

電気探査に使用した器機は、横河電機製作所製の大地比抵抗測定器 T-3244 型である。

3-3 調査結果解析方法

上記の方法により測定して得た資料は、次の方法で解析した。

電気探査結果の表現法の一つとして同探法がある。これは各測点で得られた測定値の中で、電極間隔(a)を一定にした時の、見掛け比抵抗値を測点の記入された平面図上にプロットし、等見掛け比抵抗値線を描いて得られた見掛け比抵抗値分布図が、ほぼその電極間隔に比例した深さの見掛け比抵抗値の分布状況を表わしていると考えられるものであり、電極間隔を変化させた時、それに比例した深さにおける見掛け比抵抗値の分布状況がどう変化するかを検討するものである。

地すべり地において、見掛け比抵抗値が低い地域という事は、その地すべり土塊が水分に富んでいる地域を意味している。そしてそこは地下水が豊富に存在する場所であるか、あるいは地すべり土塊の粘土化が進んでいる場所であると判定されている。そこでこの観点に立つて、当地すべり地において実施した各電気探査の結果を解釈して行く事にする。

4. 調査結果

4-1 第1回調査結果

第1回調査は地すべり発生後21日目の1967年7月13日に実施された。調査目的は、当地すべり地の地下構造推定と、地下水の存在位置を推定する為である。その結果は今後の地すべり防止工事の参考に供する事になっていた。

調査結果を前述の同深法により表現したものがFig. 3~7である。これらの図を見ると、当地すべり地の見掛け比抵抗値は1.7 k Ω -cm~15.4 k Ω -cmであり、等見掛け比抵抗値線を描いて見ると、見掛け比抵抗値が

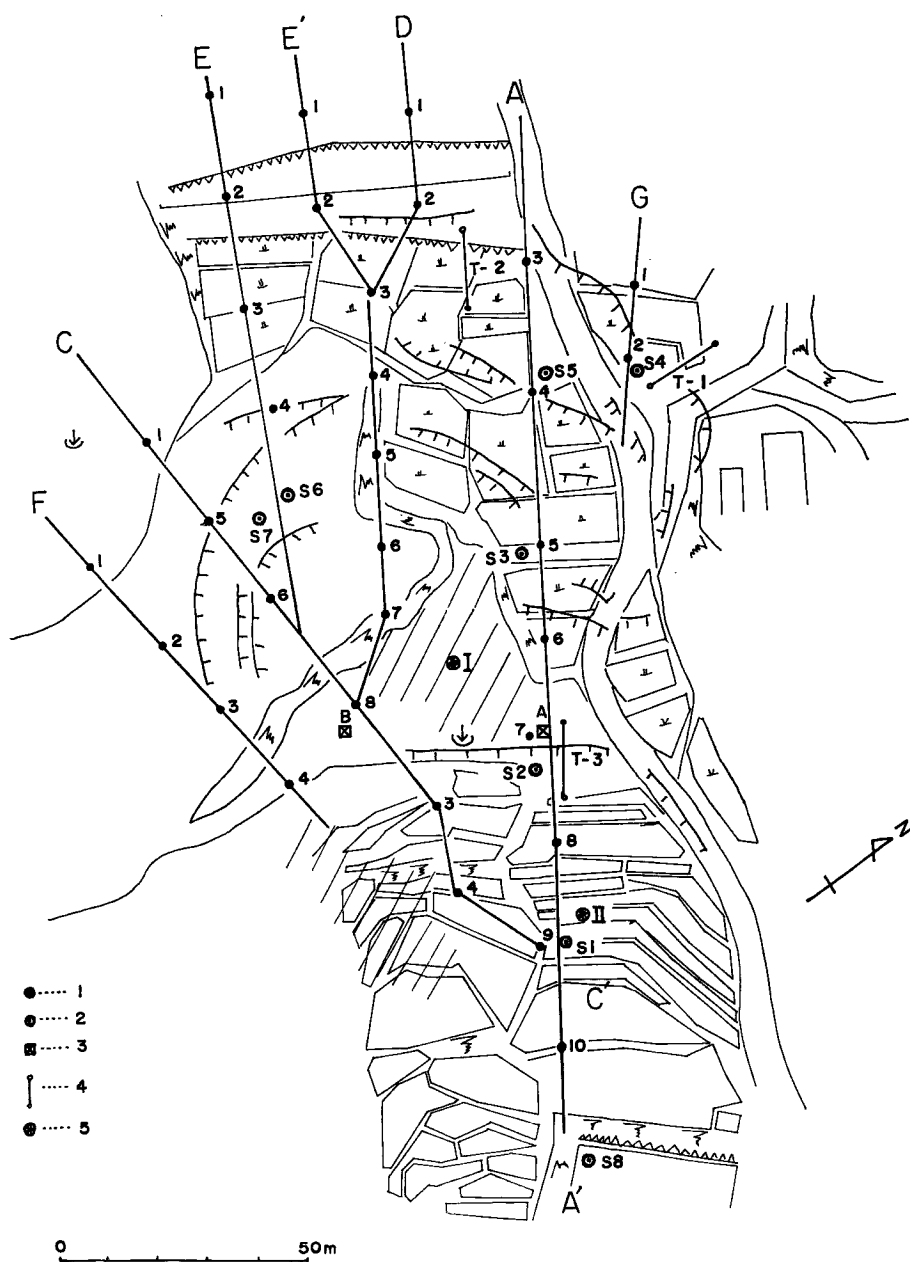


Fig. 2 Stations of measuring apparatus, and measuring points and lines of electrical resistivity survey.

1. Measuring point of electric survey
2. Internal strain meter
3. Tilt-meter
4. Extensometer
5. Water-collecting-well

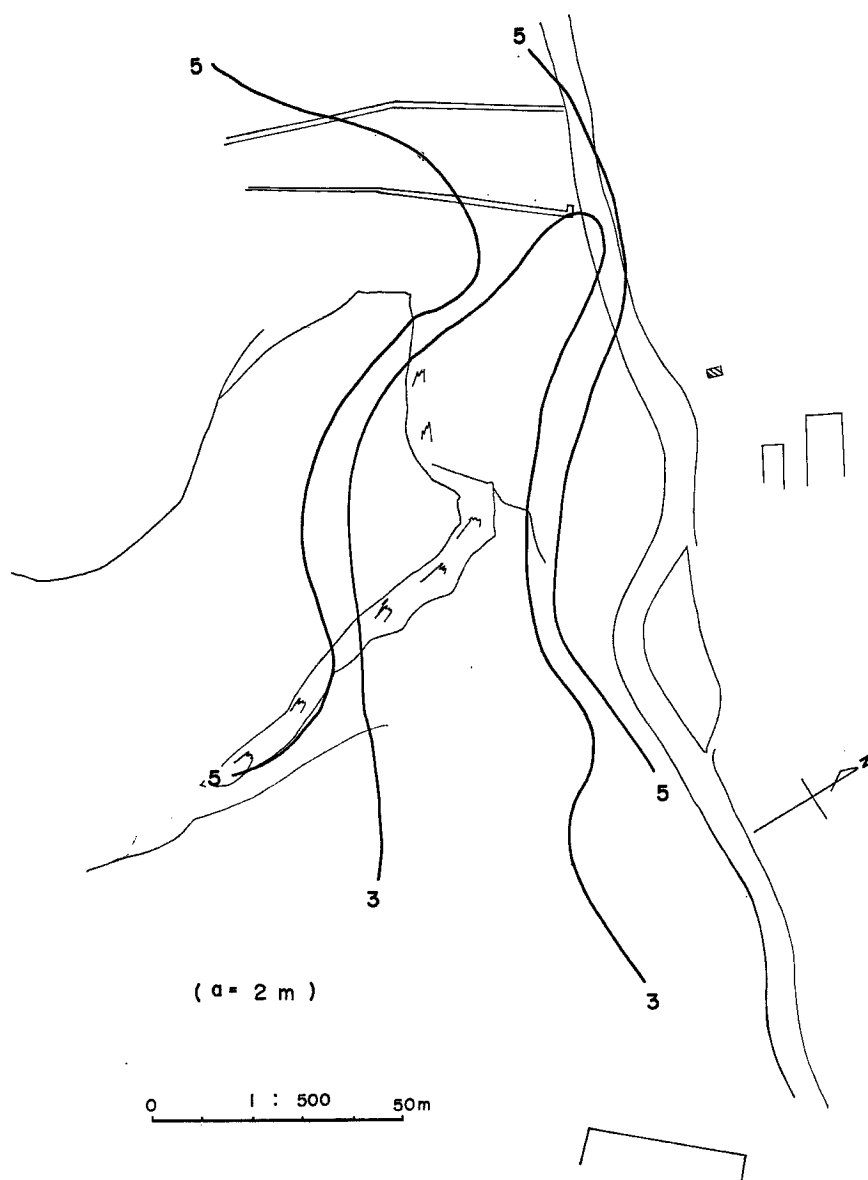


Fig. 3 Horizontal distribution of apparent resistivity values ($a=2 \text{ m}$) (unit of numbers= $k\Omega\text{-cm}$).

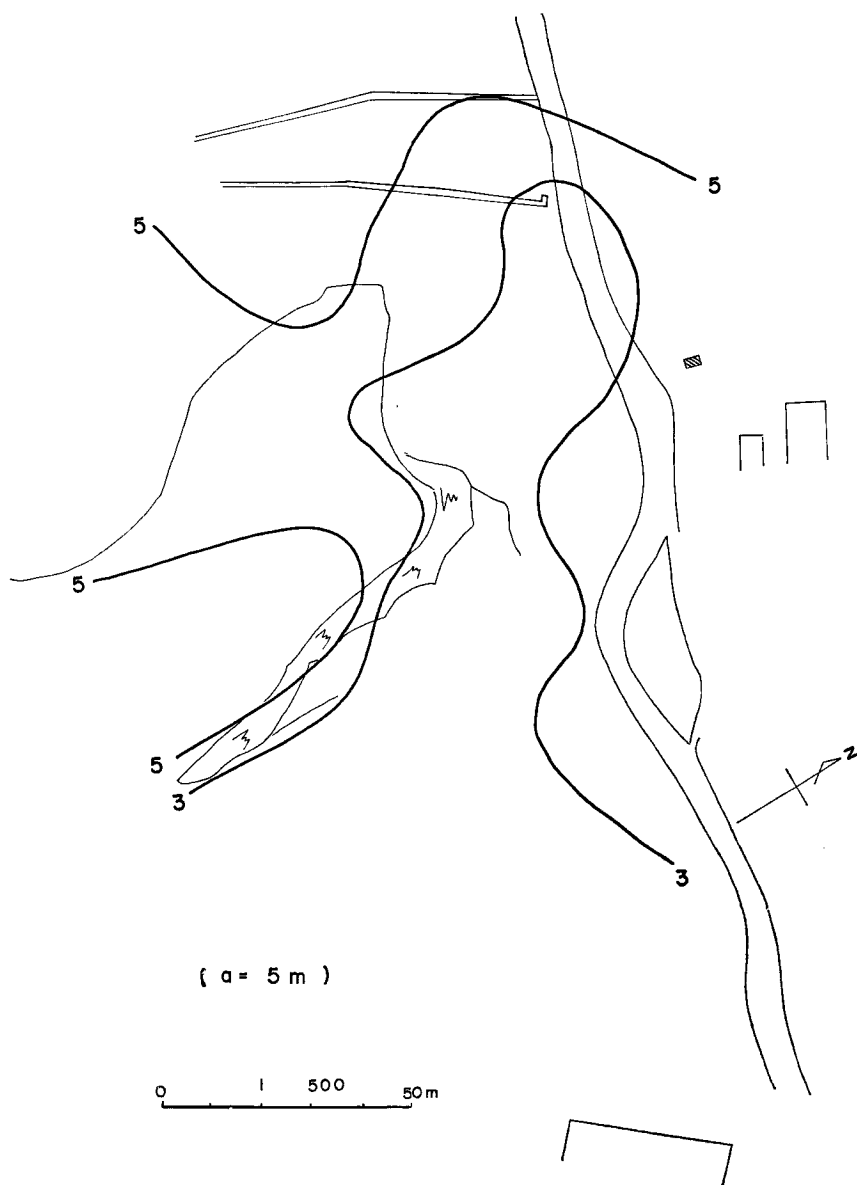


Fig. 4 Horizontal distribution of apparent resistivity values
($a=5\text{ m}$) (unit of numbers= $k\Omega\text{-cm}$).

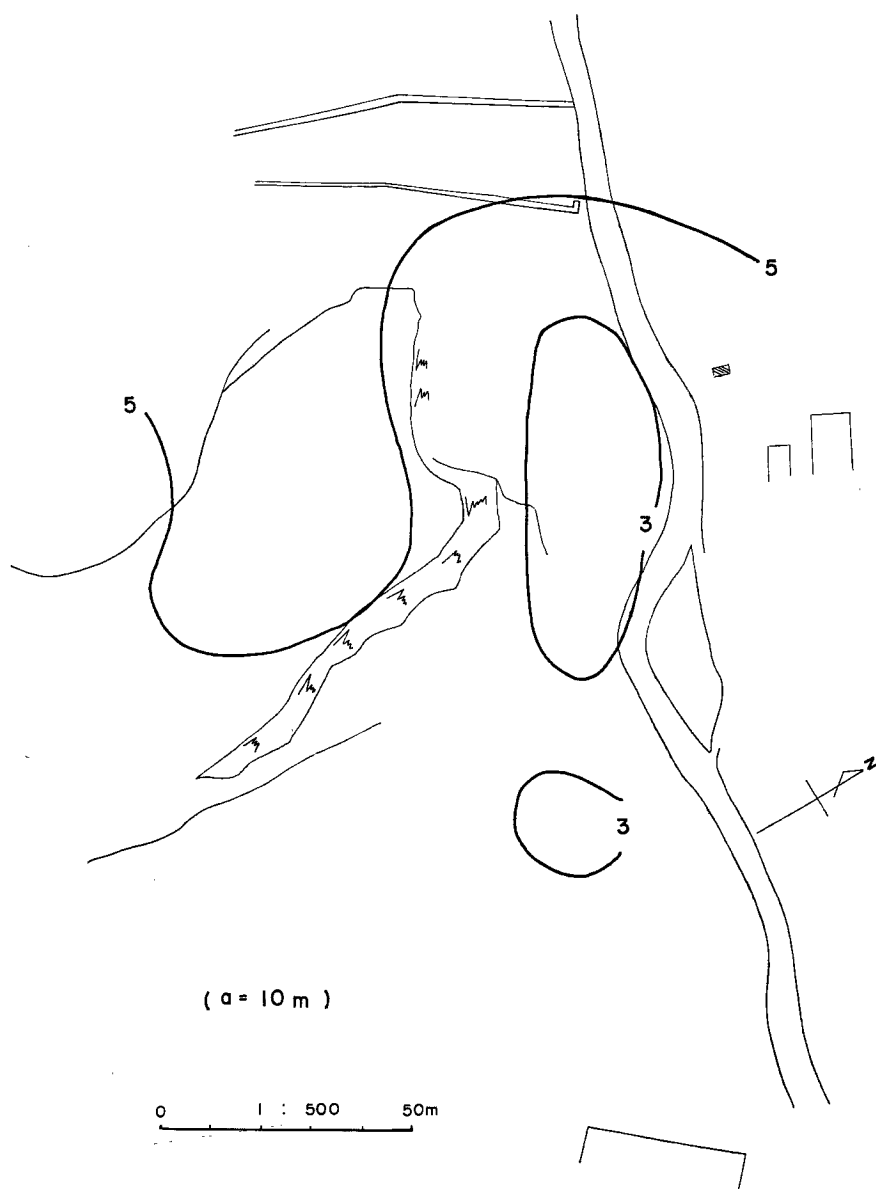


Fig. 5 Horizontal distribution of apparent resistivity values
($a=10$ m) (unit of numbers= $k\Omega$ -cm).

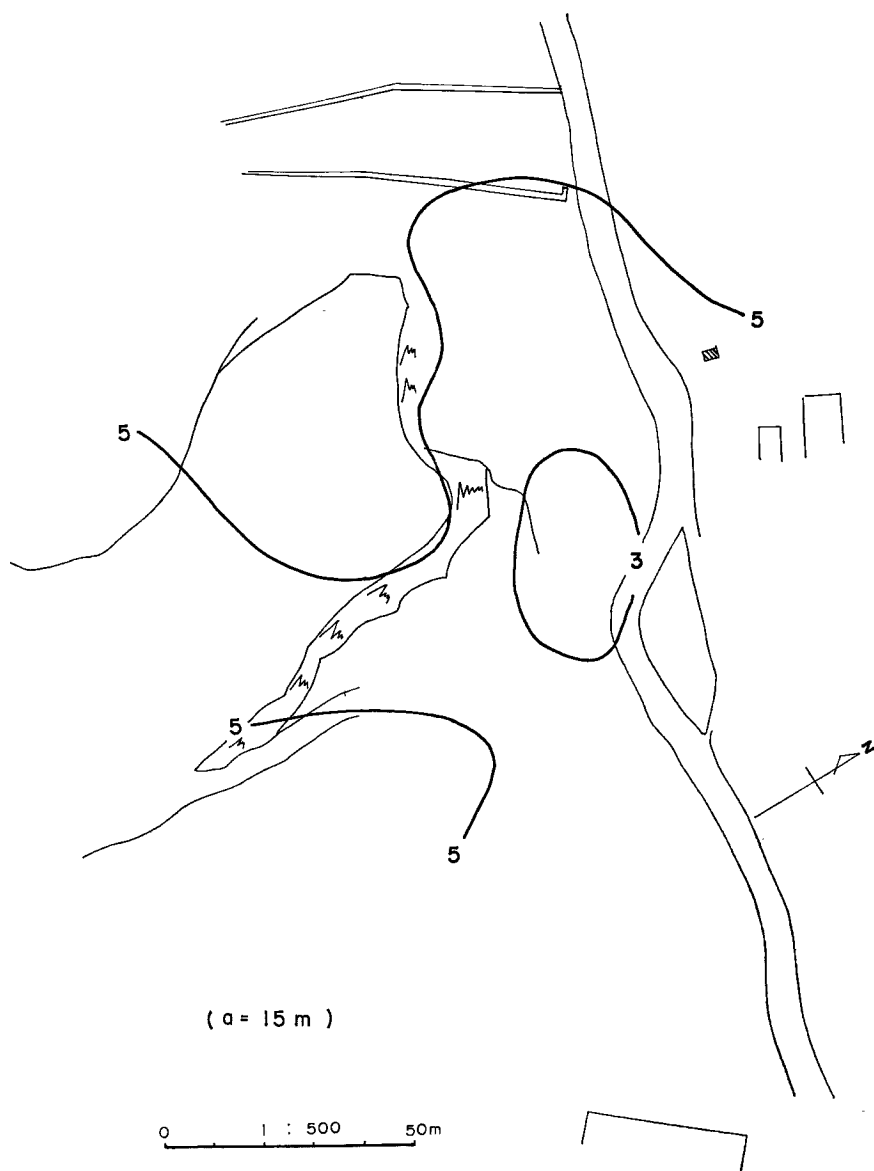


Fig. 6 Horizontal distribution of apparent resistivity values
(a=15 m) (unit of numbers=k Ω -cm).

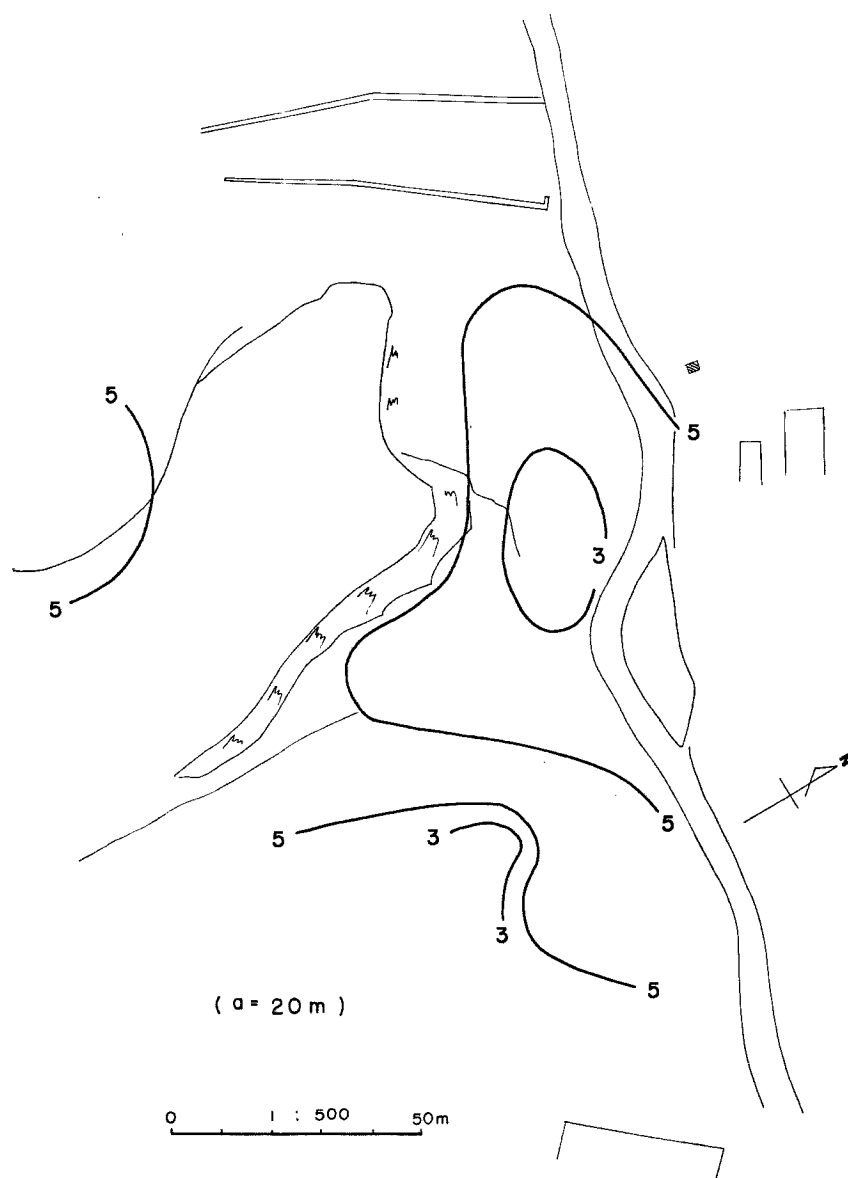


Fig. 7 Horizontal distribution of apparent resistivity values ($a=20 \text{ m}$) (unit of numbers= $\text{k}\Omega\text{-cm}$).

3 k Ω -cm 以下の所が地すべり地の主土塊の存在する付近に分布しているのが見られる。又この低見掛け比抵抗値を示す場所は電極間隔の長短に拘らずある限られた地域に存在している事がわかる。これらを更に理解しやすくする為に、 $a=2, 5, 10, 15, 20$ m, の各々の見掛け比抵抗値分布図で得られた、低見掛け比抵抗値帯の範囲を一つの図にまとめて見ると Fig. 8 の如くなり、この地すべり地内には二つの低見掛け比抵抗値帯が明らかに存在する事がわかった。この二つの低見掛け比抵抗値帯が前述の解釈に基づく最も地下水の影響を受けている場所であろうと推定される。

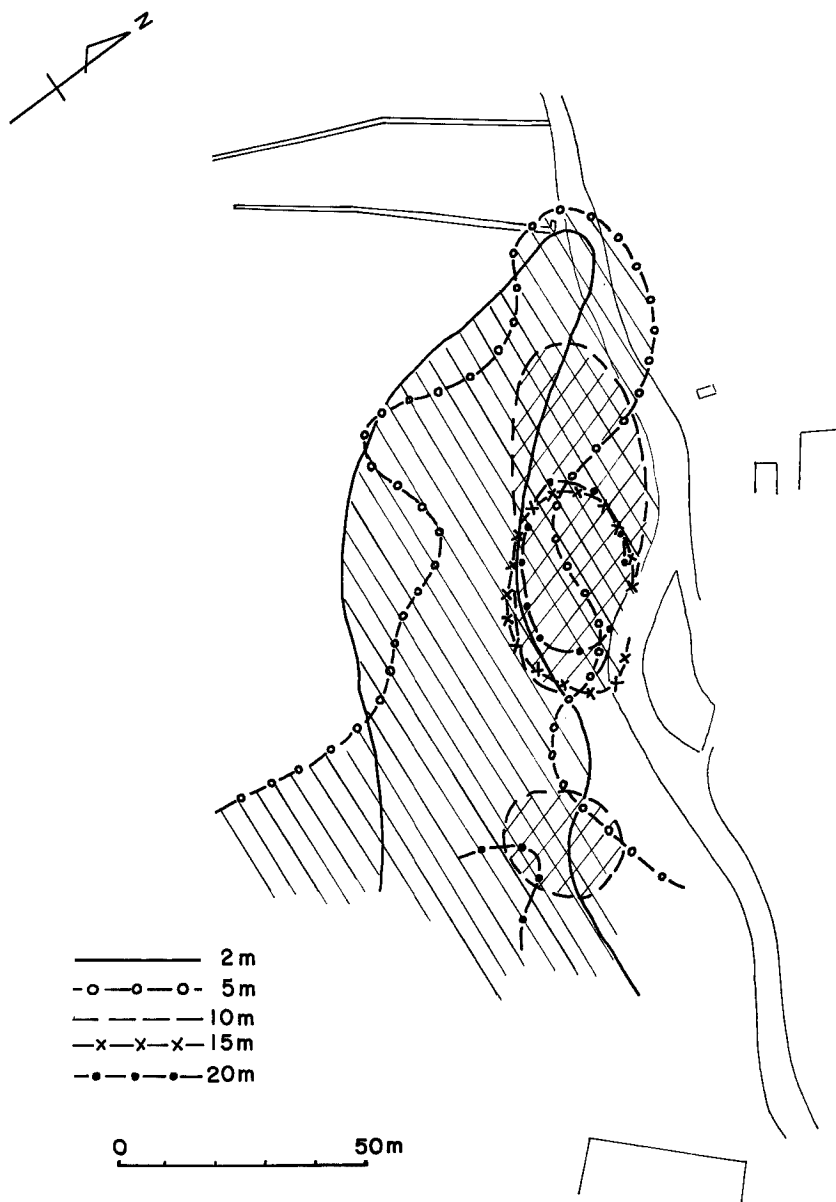


Fig. 8 Horizontal distribution of low apparent resistivity values of 3 k Ω -cm or lower ($a=2, 5, 10, 15, 20$ m) on 13th July 1967.

この調査結果並びに地温探査，地下水調査等の結果を総合し，検討した結果 **Fig. 2** に示す位置に集水井Ⅰを施工する事が有効であろうと推定された。

4-2 第2回調査

集水井施行後1カ月たった1968年6月13日に第2回目の電気探査を実施した。この調査の目的は施行された集水井による地下水排除効果がどの位上がったかを調べる事であった。測点は第1回と同一場所で電極間隔，使用器機も前回と同一である。

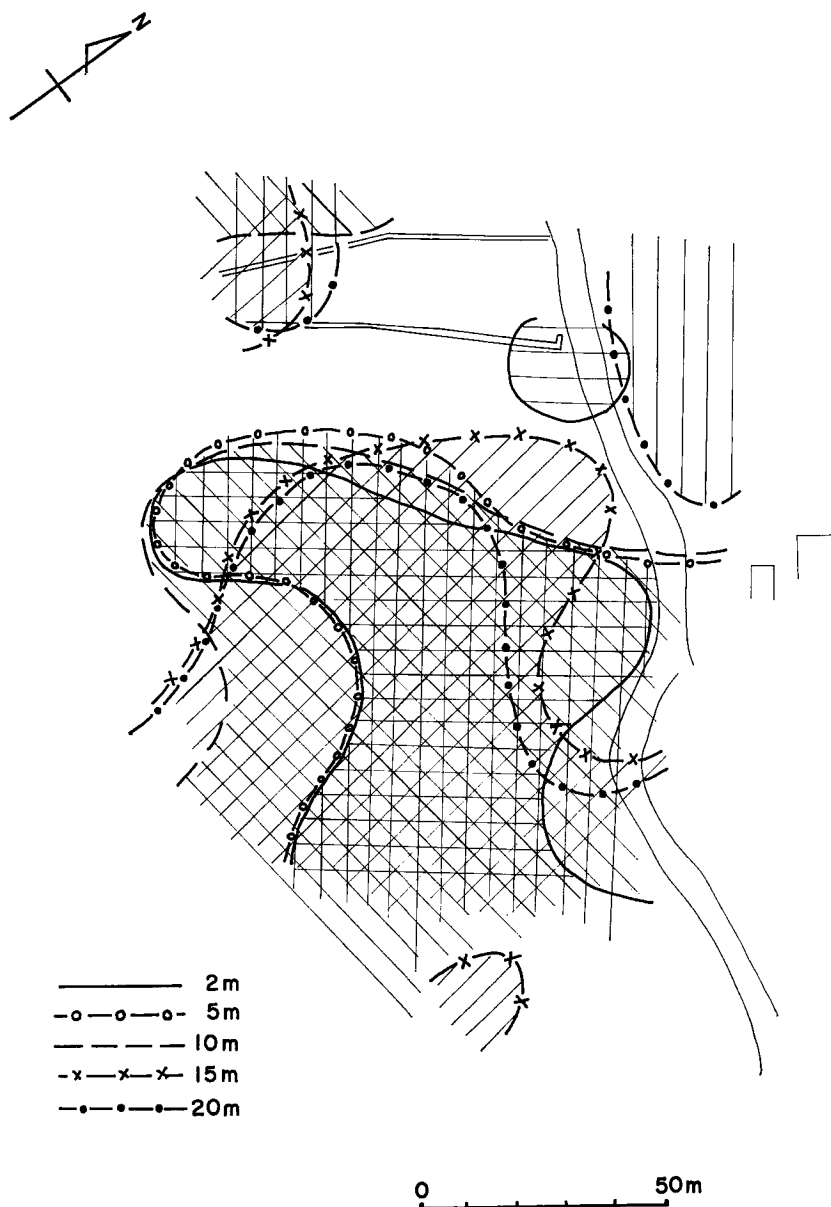


Fig. 9 Horizontal distribution of low apparent resistivity values of 2 kΩ-cm or lower (a=2, 5, 10, 15, 20 m) on 13th June 1968.

測定結果を同深法により表現し、各電極間隔において得られた低見掛け比抵抗値帯を一つにまとめたものが Fig. 9 である。これを見ると、電極間隔 2~20 m 迄殆んど同一地区に低見掛け比抵抗値帯が存在しているのがわかる。そして第1回調査結果に比べて、地すべり上部（北西方向）の低見掛け比抵抗値帯は無くなっているが、逆に西南方向にこれが広がっており、しかも電極間隔 10 m 以上においても低見掛け比抵抗値が大きく広がっており、第1回調査時よりも集水井を掘つた後の方が、地すべり上部を除いては地下水が豊富になっており、しかも深部迄浸透している事になる。これは我々が当初予想していた結果とは逆であった。この原因は第5章の考察の項で述べる如きものであつたので、県当局に早急に集水井より地すべり地内に向け横穴排水試錐を施行するように進言した。

4-3 第3回調査

集水井内より横穴排水試錐を施工して1カ月後に、第3回目の電気探査を実施した。(1968年10月20日)集水

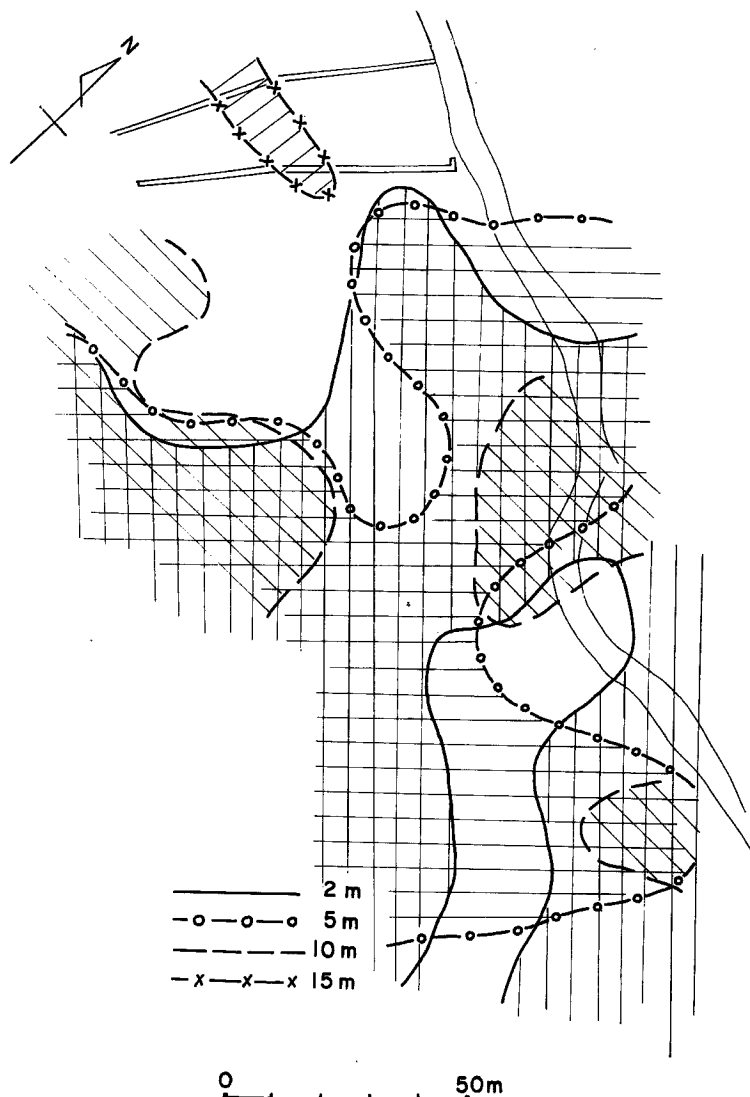


Fig. 10 Horizontal distribution of low apparent resistivity values of $3 \text{ k}\Omega\text{-cm}$ or lower ($a=2, 5, 10, 15, 20 \text{ m}$) on 20th Oct. 1968.

井内の横穴排水試験は深度 5 m と 10 m の所に掘った。掘進長は各々 30 m ～ 50 m である。今回はこの横穴排水試験と集水井による排水効果をみる目的で調査を行った。測点、電極間隔、使用器機は前回と同一である。

測定結果を同深法により表現し、各電極間隔において得られた低見掛け比抵抗値帯を一つにまとめたものが Fig. 10 である。これを見ると電極間隔 15 m 以下における低見掛け比抵抗値帯は、ごく一部を除いて見られなくなっているのがわかる。又短い電極間隔においても今迄とは異った分布状況をなしている。第 2 回調査と比べると、深部 ($a=15$ m 以下) の低見掛け比抵抗値帯は見られなくなっており、集水井内の横穴排水試験の効果が上って来ている事を示している、しかし一方浅部の地下水は依然として全て抜ききれずに広く分布しているのが見られる。そこでこの浅部に残る地下水を排除し、当地すべり地内に残る地下水をより

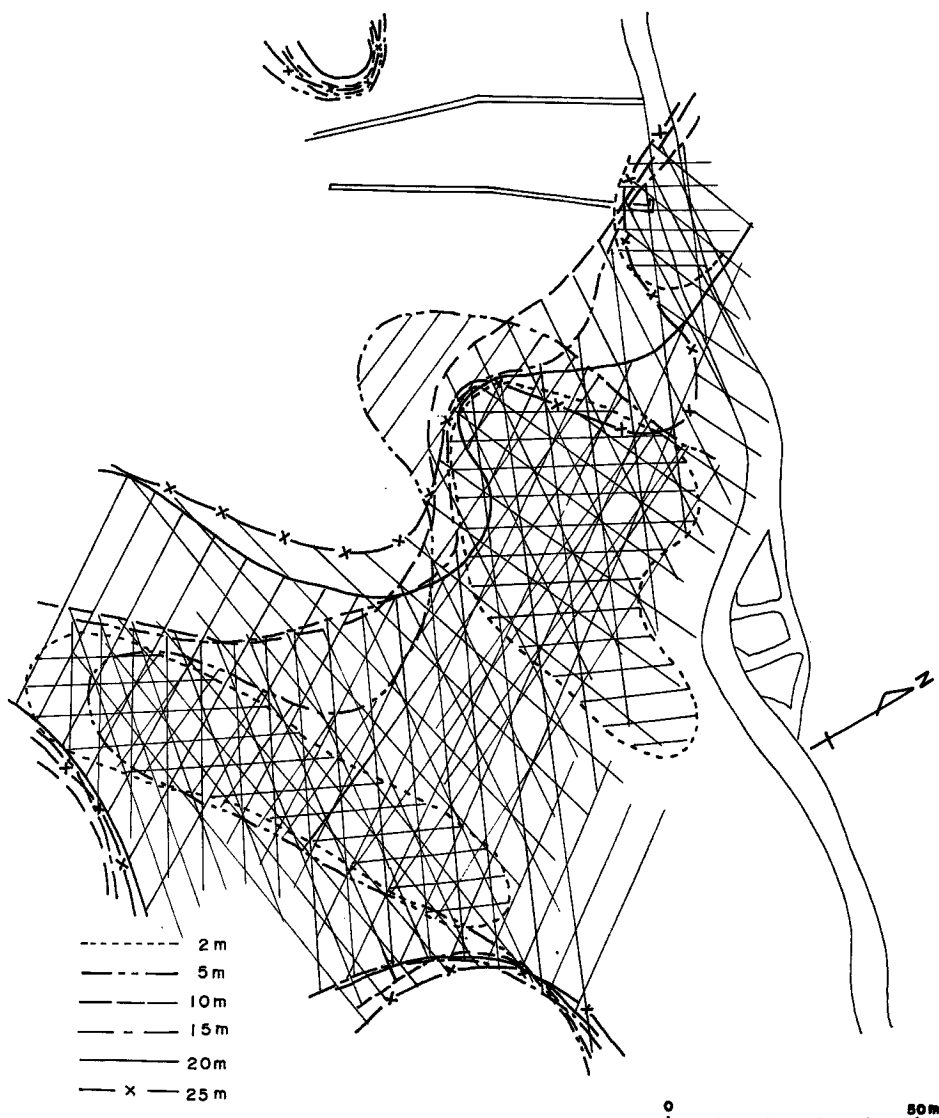


Fig. 11 Horizontal distribution of low apparent resistivity values of 3 k Ω -cm or lower ($a=2, 5, 10, 15, 20$ m) on 24th Apr. 1969.

完全に排水する目的で **Fig. 2** に示す位置に集水井Ⅱが施行される事になった。

4-4 第4回調査

集水井Ⅱが施行された1ヶ月後の1969年4月24日に第4回目の電気探査を実施した。今回は地すべり前に造成されていた地山の地下水状況を調べると共に、集水井Ⅱによりどの位排水効果が上がっているかを調査する事を目的とした。今回の調査結果を同深法により表現し、各電極間隔において得られた低見掛け比抵抗値帯をまとめたものが **Fig. 11** である。それを見ると全体に低見掛け比抵抗値を示す部分が地すべり地下部へ移っているが、第2回目の調査結果と同様に集水井を中心として広い範囲にわたって、しかも深部迄低見掛け比抵抗値帯が存在しているのがわかる。この原因も後述されている如く第2回調査結果の原因と同様であると推定される。そこで第2回と同様に集水井内より横穴排水試験が施行される事になった。

5. 考 察

以上調査結果に付いて述べたので、次にこれらの結果に付いて少し考察を加えて見よう。第1回目の調査結果に基づいてⅠ号集水井を施した所、集水井が越流する程の多量の地下水を排水する事が出来た。これで一応初期の目的は達成された。しかし集水井に集った地下水は自然に越流するにまかせて、人工的に排水し排水路に水を導く事をしなかった。この為に集まった地下水は再び地すべり土塊の中に滲透して、かえって以前より地すべり土塊に悪影響を与えるのではないかと憂慮されていた。このような状況にある時に第2回目の電気探査が実施された。この結果は **Fig. 9** に示す如く、第1回目の調査結果 (**Fig. 8**) に比べて、3 kΩ-cm 以下の低見掛け比抵抗値帯が全域にわたって拡がっており、上述の危惧した事が電気探査によりはつきりと裏づけされる事になった。つまり集水井を掘って地下水を集めた迄は良かったが、後始末が遅れた為に折角集めた水を再び地すべり地内に送り込む事になった。その結果今度は浅部に水が多かったが、集水井が施工された為に集まった水は深部へも供給されてゆき、深部の土塊をも地下水により軟弱化させてしまった事が推定された。これではかえって地すべり活動を再び活発にさせる為に水を集めたような結果になってしまうので、集水井内に動力ポンプを投入し急遽地下水を排水する事にした。更に集水井内の水が完全に排除された後、集水井から逆に地すべり土塊内に供給されてしまっ地下水を排除する為に横穴排水試験が行われた。その後集まる地下水は集水井底付近に設けられた自然排水用試験により、地すべり地外に排水されている。この工事終了後に第3回目の調査が実施された。その結果を前述の如く前回の調査結果と比べると、深層地下水に関しては、低見掛け比抵抗値を示す地域が殆んど無くなっており、第2回目の調査結果に基づいて行われた工事の効果が非常に上がったと解釈出来た。しかし一方地すべり末端部と地すべり上部では、依然として浅層部において低見掛け比抵抗値帯が残っている。これは集水井のみでは浅層地下水を完全に抜く事が難しい事を意味している。

一方第1回調査結果によると2つの低見掛け比抵抗値帯が見られた (**Fig. 8**)。その中の一つに集水井Ⅰを施工し、多量の地下水を排除する事に成功したが他の一つはそのままになっていた。この残りの低見掛け比抵抗値帯は第2、第3回目の調査結果では集水井Ⅰ号の影響によって、はっきりした低見掛け比抵抗値帯としては検出されなかったが、この付近にも未だかなりの地下水が残存している事が考えられた。そこでより完全に当地すべり地内の地下水を排除すべく、集水井Ⅱを施工する事になった。集水井Ⅱが施行されて1カ月後に第4回目の電気探査が実施された。その結果は前述した如く、第2回調査結果と同様のものではあった。 **Fig. 11** に示す如く低見掛け比抵抗値帯は前回迄の調査結果よりも地すべり下部に移っているが、地山から集水井Ⅱへ向うものと、地すべり下部を広くおおもの二つが存在しているのがわかる。この理由は集水井Ⅰを施工した時と同じく、集水井Ⅱ及びその付近に過剰の地下水が集まった為と考えられ、前回の如く又再び地すべり地内に地下水を逆送している事が考えられた。この事は地すべり土塊を悪化させる事になり、この兆候は地すべり末端部に埋設された地中内部ひずみ計の観測結果にも表われてきた。このままでは又地すべり土塊が活動を始める可能性が考えられたので、集水井内に上下二段に横穴排水試験が施工されると共に、集水された水を自然排水すべく集水井底付近に排水用試験を設けた。この結果集水井に集まった水

は全てすみやかに地すべり地外の排水路に排除される事になった。

以上何回かの電気探査に基づいて当地すべり地内に2基の集水井が施工され、地すべり地内の地下水は殆んど排除される事になった。しかし浅層部の地下水に付いては依然としてこれを完全に排水する事が出来ず、多少問題点を残している。

6. 結 語

以上串林地すべり地を例に取つて、地すべり地において地下水排除を目的とした地すべり防止工事を行う場合に、防止工事をより効果的に行う方法の一つとして、防止工事の各段階において電気探査を実施してみた。そして各段階毎に得られた調査結果を吟味して、ある段階における防止工事の効果の是非を判定すると共に、その調査結果を今後行われる防止工事を修正する必要があるか否かを検討する参考資料として使用してみた。

この結果地下水排除を目標とした地すべり防止工事を実施する場合には、防止工事の各工程毎に電気探査を行う事が非常に有益である事がわかった。各工程毎に電気探査を行う事により、防止工事の各工程毎に工事の効果がどの程度上がっているかを知る事が出来ると共に、次の工程に移行する場合、どのように工事を修正したならより効果的な防止工事を行う事が出来るかという情報が得られる事が判つた。結論としては、地すべり防止工事において地下水排除を目的とした防止工事が実施される場合には、各防止工事工程毎に電気探査を行う事により、防止工事の効果をより一層上げる事が出来るであろうし、又莫大な費用を必要とする地すべり防止工事の効果をより一層上げる為にも、各工程毎に電気探査等の諸調査を行う事は決して無駄な事ではないと考える。

7. 謝 辞

小論のモデル地区となつた串林地すべり地を調査するに当っては、滋賀県耕地課、大辻課長を始め課員の方々に大変お世話になった事をここに記し、謝意を表します。更に電気探査資料を得るに当りましては、小西利史技官の手をわずらわしました事を記し、謝意を表します。