

(株) 日本海開発 ○安藤進一 子川桂二

1 はじめに

地すべり調査・防止対策の計画を立てる上での保全対象域最小単位であるブロック設定は、地すべりの変形構造を求める不動域と変動域の境界設定であると同時に、防止対策上極めて重要な事項で地すべり調査の重要な位置にあると認識している。

この重要な位置にあるブロック設定において、地形地質調査手法の一つである電気探査の有効利用は、地すべりブロックの横断的解析を先行することができ、地表面変形構造に合致した解析測線を設定するのに非常に有効である。

電気探査の有効利用とは、大地比抵抗測定器として普及している横河電機製作Type-3244を主とした(最大電極間隔3mとして最大96接点の接続可能な多極点リード線を接続する)多極点接続スイッチボックスを作成して人件費の節約を計ると同時に、PC-98パソコン処理で見掛け比抵抗値図と区分図の作成時間を短縮することができ、地すべりの変形構造の一つ地表面構造解析結果が出ると同じくして概略の地中構造の1セクションである地すべり斜面の胴ざり断面図を参考にすることができるため、地質構造に左右され易い地すべり運動においても、精度のよい最大土圧作用方向と考えられる解析測線を選定することができる。

2 ウェンナー法電気探査の利用

測定機器が比較的安価であり、調査法・解析法が容易で最もよく利用され普及している電気探査法である比抵抗法を採用した。この比抵抗法には、2極法、3極法、ポールダイポール法、4極法(ウェンナー法)、エルトラン法、シュランベルジャー法、ダイポール・ダイポール法等の電極配置方法があるが、脈状構造の探査に優れているとされるダイポール・ダイポー法は送信電流に対して応答電位が小さくなるため非常に大きな電流供給装置が必要とされているのに対して水平構造の探査に多く用いられるウェンナー法は、送信電流に対して応答電位が大きいため低比抵抗地帯およびノイズの大きい所でも測定可能であり、大きな電流供給装置を持たなくても良いという電極配置の特徴がある。

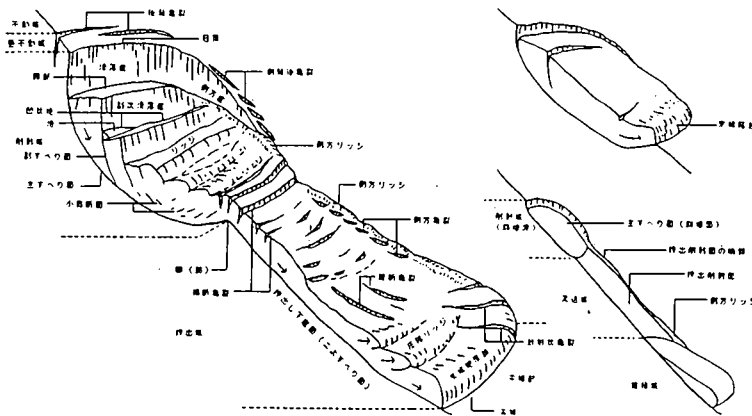


図-1 地すべりの変形構造模式図(ア-バンクボク・March 1982)

地すべりの変形構造における脈状構造が重要な位置を占める頭部の後背亀裂・滑落崖、腹部～脚部の側背後亀裂・側方亀裂等の高角度発達、あるいは水平構造に近いすべり面形成層の低角度発達をウェンナー法電気探査によって見掛け比抵抗断面図を出来る限り多くの現場を対象に作成するとともに、調査ボーリングを実施して見掛け比抵抗断面と地質構造のコントラストを一般化することに努めた。

### 3 探査測線

地すべり運動による地層の乱れ、地質的脆弱部における岩相の乱れ部分は、地すべりブロック外の地層・岩相より空隙に富むであろうと想定すれば、大地の電気的性格も差異を生ずるはずである。

この電気的性格の差異が強調されるように地表面変形構造に直交する方向に展開するよう測線を配置した。(図-2)

### 4 探査結果

見掛け等比抵抗線図(図-3)を描き、そこにおける見掛け比抵抗値ゾーンを求めると、地形歪として現われるサイドクラックの発生位置には10m~20m層厚で北落ち傾斜を主としたサンドイッチ構造の等値線が分布することが判明、特に斜面右側に観られる北落ち構造は、露頭するすべり面の発達方向とほぼ一致する。

斜面のほぼ中央部に、サイドクラック発生位置での見掛け比抵抗値 $\rho \geq 300 \Omega \cdot m$ よりはるかに高い値 $\rho \geq 500 \Omega \cdot m$ を示すサンドイッチ構造の等値線が存在し、地すべり斜面を地中変形構造として2分していることが判明した。このサンドイッチ構造等値線の存在は、地すべり運動方向、地すべりブロックを解釈するうえで重要なポイントである。

見掛け等比抵抗値線図からの判読事項を以下に列記する。

(1) 踏査から評価できる不動域、サイドクラックの外側での見掛け比抵抗値は、

- ① 斜面左側 200  $\Omega \cdot m$  以下
- ② 斜面右側 150  $\Omega \cdot m$  以下

であり、等値線間隔が広く、滑らかな曲線である。

(2) すべり移動土塊を形成すると判読できる見掛け比抵抗値は、不動域の値より大きく等値線の乱れる傾向にある。

(3) サイドクラック位置に現われるサンドイッチ構造の200  $\Omega \cdot m$ 以上の見掛け比抵抗値ゾーンは、約60°の傾斜角度をもって北側に落ち込んでいる。

- ① 斜面左側 見掛け高比抵抗値ゾーンが、移動域と反対側に傾斜しており、移動土塊がその傾斜面に乗って移動する形態ではなく、横転あるいは崩落する形態であり、急崖を形成する。
- ② 斜面右側 見掛け高比抵抗値ゾーンが移動域に約45°~60°で傾斜して、流れ盤構造を示し、その傾斜面がすべり面を形成している。

(4) 斜面のほぼ中央部に500  $\Omega \cdot m$ 以上で、以上に高いサンドイッチ構造の見掛け比抵抗値ゾーンが存在する。

### 5 結果の解釈

見掛け等比抵抗値線図を利用した地質構造解析は、サンドイッチ構造の見掛け等比抵抗値線の方向性、リング状見掛け等比抵抗値線の繋り、あるいはそれらの切線方向が地質的脆弱部の発達方向や岩

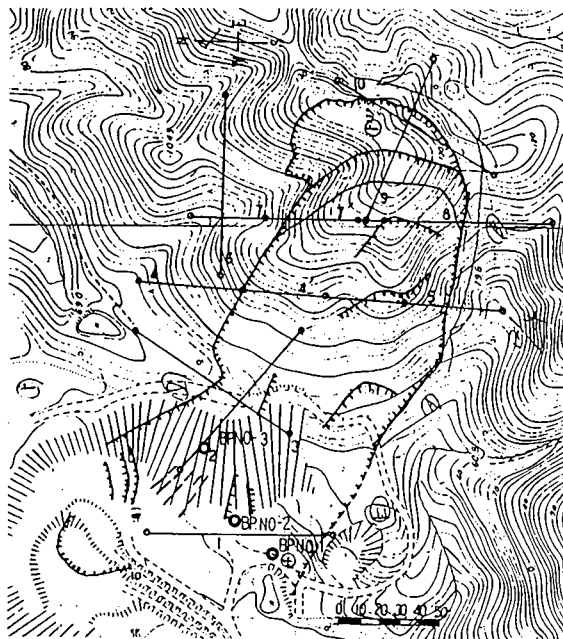
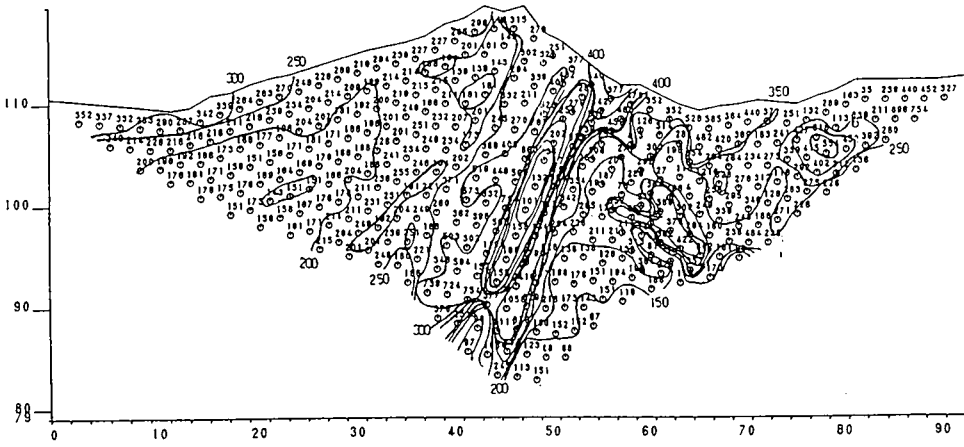
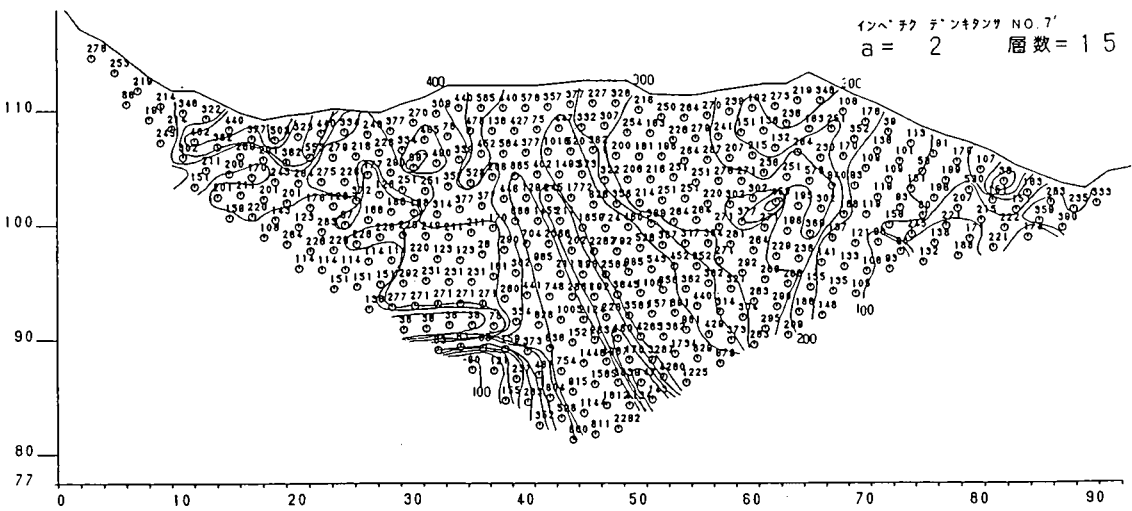


図-2 測線配置

インベクタ デンキタンク NO. 7  
 $a = 2$  層数 = 15



インベクタ デンキタンク NO. 7  
 $a = 2$  層数 = 15



インベクタ デンキタンク NO. 8  
 $a = 2$  層数 = 15

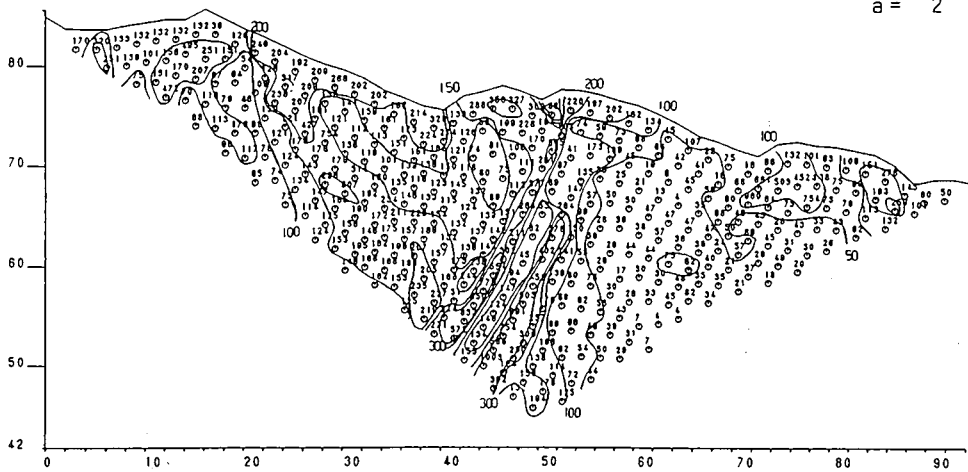


図 - 3 見掛け等比抵抗値線

相の不連続面を反映しているとすることができる。

ボーリング調査との対比を図-4に行なったが、前記の解析手法に大きな誤差がないと評価する。

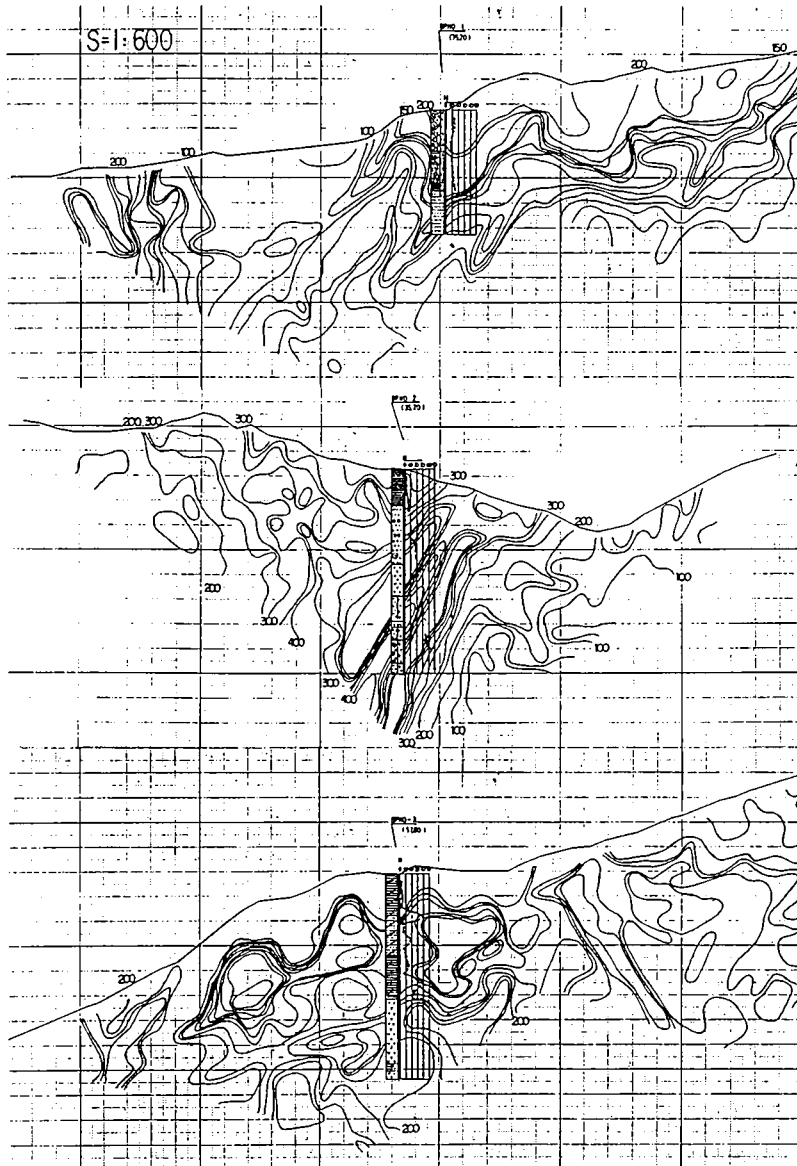


図-4 見掛け等比抵抗値線とボーリング柱状図

## 6 まとめ

ウェンナー法による電極配列の比抵抗法電気探査結果についてボーリング調査結果との対比も合わせて考察を進めたが、この地以外での同じ方法で実施した電気探査結果もほとんど同じ傾向の見掛け等比抵抗値線図を得ている（ボーリング調査との対比も同じ傾向）ことから、地表面変形構造から地中変形構造を推定する概査手段として電気探査を有効利用することで地すべりブロックの三次元的推定で解析測線の適切な位置への設定が可能となり、地すべり調査全体の精度を上げることができる。

以 上

## (49) 地すべり調査と電気探査 (その2)

### 島根県山田地すべりの高密度電気探査

株式会社 日本海開発 ○子川 桂二 安藤 進一

#### 1. はじめに

電気探査における見掛け比抵抗断面図による解析法が昭和40年後半より使用され始めた。見掛け比抵抗曲線に比べて、見掛け比抵抗値が断面図として得られるため全体の構造が理解しやすい特徴を持っている。この見掛け比抵抗断面図による解析法が、地すべり調査におけるブロック設定に有効であることは(その1)で述べたとおりである。

電気探査により、地すべりブロックの設定及びすべり面を検出することができればさらに有効な地すべり調査法となる。今回、電気探査を行った所は平成元年5月11日に活動を開始した山田地すべりであり、地すべりブロック及びすべり面深度が明らかとなっている地すべりで、電気探査により作成した見掛け比抵抗断面図により側方亀裂及びすべり面形成層が検出されたためここに報告する。

#### 2. 地質概要

電気探査を行った山田地区の地質は、新第三紀中新世の泥岩・砂岩・凝灰岩より構成される堆積岩を基盤とし、この基盤を覆って未固結堆積物が厚く分布している。堆積岩中には玄武岩が貫入岩として分布している。

調査ボーリングの結果、地質断面図(図-1-a, b)に示すように未固結堆積物はその特徴から次の4種類に分類することができる。

##### (1) 未固結堆積物 I

もっとも新しい堆積物で、さまざまな礫を含む粘土主体の土層である。腐植物及び木片を含む土層で、盛土もこの中に含む。

##### (2) 未固結堆積物 II

流紋岩の礫及び転石を主体とする土層であり、マトリックスは砂及び粘土よりなる。褐色を呈する土層でありルーズな状態となっている。

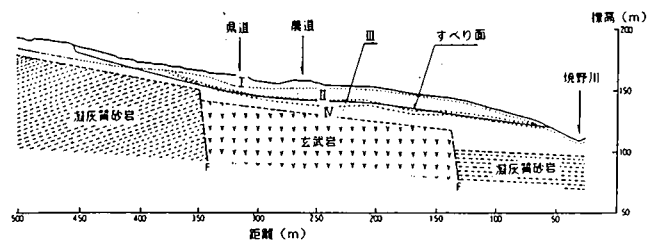
##### (3) 未固結堆積物 III

黒色泥岩及び青灰色凝灰岩を起源とする二次堆積物であり、10~20mmの円礫を含む粘土層である。

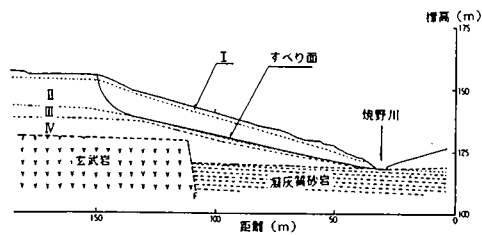
##### (4) 未固結堆積物 IV

粘土を主体とし、玄武岩の巨礫を含む土層である。

現在活動している地すべりのすべり面形成層は、上記の未固結堆積物のうち未固結堆積物 III である。



a) ①-①断面図



b) ②-②断面図

図-1 地質断面図

### 3. 電気探査測定方法

電気探査の探査法は、人工電位による比抵抗法を用いた。

電極配置 ----- 等間隔C P P C法（ウェンナー法）  
電極間隔 ----- 2 m間隔  
探査深度 ----- 20 m～40 m

測線の配置は、地すべりのサイドクラックを横断する方向に配置した。配置した測線の状況を図-2に示す。解析の方法は、測定により得られた見掛け比抵抗値により、見掛け比抵抗断面図を作成する。見掛け比抵抗断面図により見掛け比抵抗等値線を記入し、この見掛け比抵抗等値線の分布状況から地下構造を推定する方法を用いた。

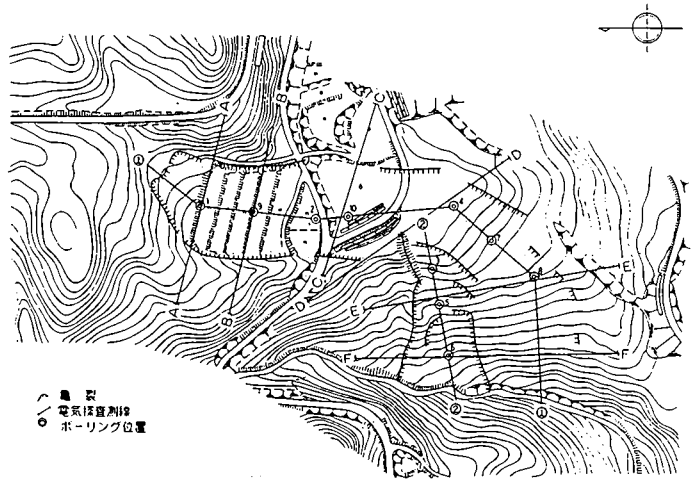


図-2 測線配置図

### 4. 測定結果

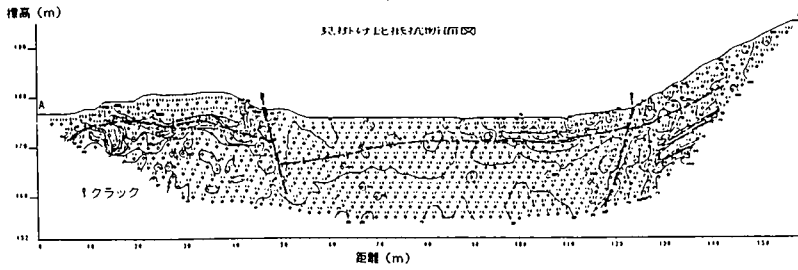
ウェンナー法による測定の結果、地すべり斜面上部に位置するA、B、C測線と、地すべり斜面下部に位置するD、E、F測線で見掛け比抵抗値の分布状況に違いが見られた。

地すべり斜面上部では、サイドクラックにはさまれた地すべりブロック内の見掛け比抵抗値が低く、その周辺部の見掛け比抵抗値が高い。さらに、すべり面上部の地すべり移動土塊とすべり面下部の不動層の見掛け比抵抗値には大きな差がない状態であり、深度が増すにつれて見掛け比抵抗値が大きくなる傾向を示している。

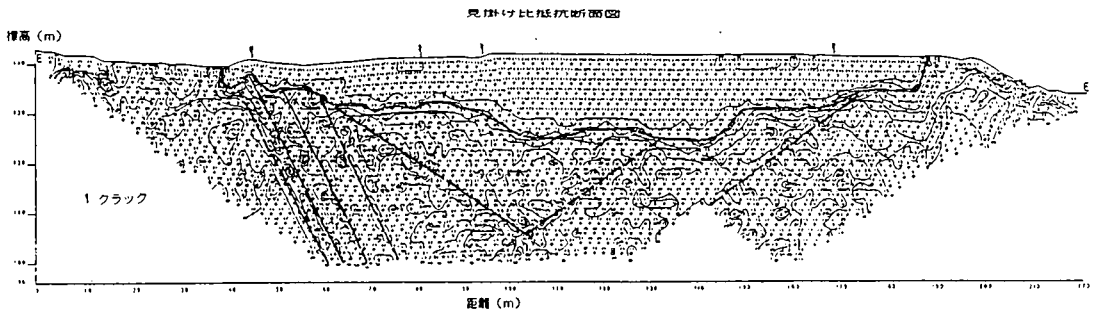
地すべり斜面下部では、サイドクラックにはさまれた地すべりブロック内の見掛け比抵抗値が高く、その周辺部の見掛け比抵抗値が低い傾向を示している。また、すべり面より上部の地すべり移動土塊とすべり面より下部の不動層を比較すると、すべり面上部で見掛け比抵抗値が高くすべり面下部で見掛け比抵抗値が低くなる傾向を示している。

以上のような見掛け比抵抗の違いを見掛け比抵抗等値線によりさらに明瞭にすることができる。見掛け比抵抗値に極端な差がある場合には、見掛け比抵抗等値線は密な状態となりその差が明瞭に現れてくる。見掛け比抵抗等値線を記入した結果の代表例を図-3の見掛け比抵抗断面図に示す。

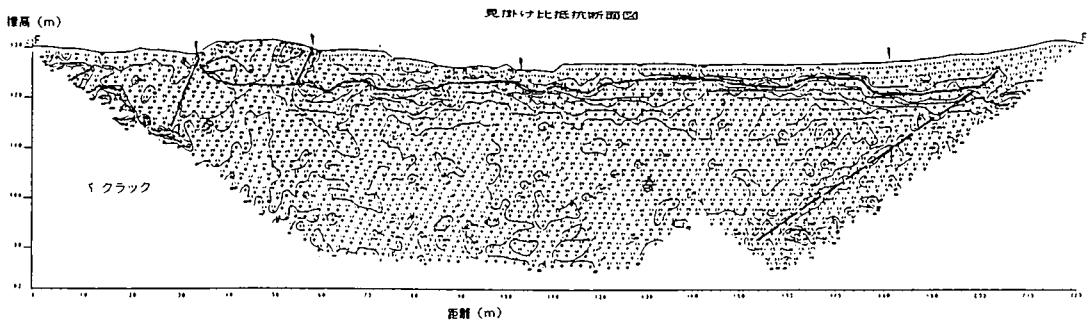
見掛け比抵抗等値線と地すべりサイドクラック及びすべり面との関連性が得られた。サイドクラックとの関連性は地すべり斜面上部で強く、図-3-a)に示すように、地すべりブロック内での見掛け比抵抗等値線の分布状況が水平的な分布であるのに対し、サイドクラック位置で垂直的な分布へと変化している。また、斜面下部の測定結果においても、斜面上部ほど明瞭ではないがわずかに垂直方



a) A - A 断面図



b) E - E 断面図



c) F - F 断面図

図-3 見掛け比抵抗断面図

向の等値線分布への変化が見られる。

すべり面との関連性は地すべり斜面下部で明瞭に現れている(図-3-b, c)。サイドクラックにはさまれた地すべりブロック内での見掛け比抵抗等値線の分布状況は、孔内傾斜計で確認されたすべり面位置で等値線が密な状態となり水平方向の分布を示している。

地質分布状況と見掛け比抵抗等値線の分布状況を対比すれば、流紋岩の礫転石を主体とする未固結堆積物Ⅱが欠如し、泥岩・頁岩の礫を主体とする未固結堆積物Ⅲが非常に薄くなる斜面上部では、すべり面形成層を明瞭に検出することができなかった。しかしながら、見掛け比抵抗等値線は水平方向の分布を示しており、ボーリングデータと対比することによりその分布状況を推定することができ

る。

未固結堆積物Ⅰが非常に薄くなる斜面下部ではすべり面形成層を明瞭に検出することができた。この結果は、未固結堆積物Ⅱが流紋岩の礫・転石を主体とした透水性の良い土層であるのに対し、すべり面を形成する未固結堆積物Ⅲは粘性土を主体とすること、さらにその下位に分布する未固結堆積物Ⅳも玄武岩の転石を含むが粘性土を主体としていることが原因であろう。また、サイドクラックより外側に垂直方向の見掛け比抵抗地等値線の分布が見られる所が存在する。これは、流紋岩の礫・転石を主体とする未固結堆積物Ⅱの分布が、地すべりサイドクラックよりも外側まで分布していることを示している。

各測線での測定結果により地すべり移動土塊の分布状況を推定し図-4に示す。地すべり移動土塊は、斜面上方で左側が厚くなり、斜面中央付近では中央部がやや厚くなる。また、斜面下方のE測線では右側が厚くなるのに対しF測線では左側が厚くなっている。

#### 5. まとめ

活動中の地すべりにおけるウェンナー法の電気探査測定において、すべり面形成層及びサイドクラックを検出することができた。サイドクラックでは見掛け比抵抗等値線が垂直分布を示し、すべり面形成層では水平分布を示している。この分布状況から地すべり移動土塊をブロックとして把握することができる。

したがって、現在活動している地すべりについては、ボーリング調査及びすべり面調査等の結果と対比することにより地すべり規模を明らかにすることができる。さらに、地すべり規模が明らかになることにより3次元安定解析等の立体解析を行う上でも有効な補助調査としてとりあげることができる。

また、現在活動はしていないが地すべり地形を示し今後の活動が予測される地すべり地では、地すべりブロックの設定及び調査ボーリングの位置選定等の計画段階での調査法として利用することができる。

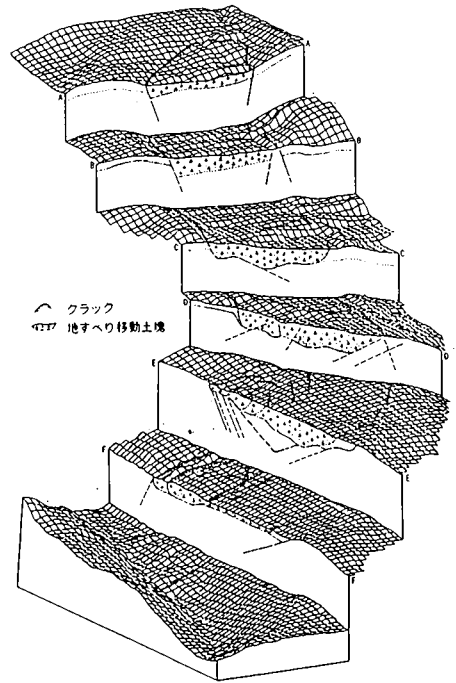


図-4 地すべり土塊分布図