

比抵抗映像法の地すべり調査への適用

菊 地 弘 明

1. はじめに

電気探査法と呼ばれる方法には電気比抵抗にのみ着目した直流比抵抗法、分極現象にも着目したIP法や複素比抵抗法（SIP法）、あるいは誘導現象を利用した電磁法（EM法やMT法）等多くの種類がある。しかし、一般に電気探査といった場合には、その内の直流比抵抗法を指すことが多い。直流比抵抗法では、地盤に直流電流（通常は周期の長い交替直流）を通電し、その際に地盤に発生した電圧を測定する。そして、それを解析して地下の比抵抗分布を求めることになる。

比抵抗とは単位体積当たりの電気の流れにくさを示す量であり、地盤構成要素毎におおよその比抵抗値が知られており、この比抵抗分布を明らかにすることで地下構造を推定する上で重要な情報を提供する。

直流比抵抗法による地表からの探査は、初期の頃、地下を水平成層構造と仮定して、その境界深度と各層の比抵抗値を求める垂直探査や鉞床等に起因する比抵抗の異常を水平方向に測ってその位置を特定する水平探査などの一次元探査が主流であった。1970年代後半からは、深度方向にも水平方向にも変化する複雑な二次元構造を解析ができるようになってきた。この背景には、高品質のデータを高速かつ大量に測定する装置あるいは高精度の数値解析法や高性能の計算機といった技術の発展があり、現在も実用化への努力が行われている。

比抵抗映像法とは、こうした解析技術と測定技術を組み合わせた新しい電気探査システムである。従って、大量かつ高品位なデータの取得を前提として、高度なシュミレーション技術や逆解析技術により地下の複雑な比抵抗を高精度に描き出すことができる。しかも、解析結果は分かり易いカラー断面として最終的に表示される。

今まで比抵抗映像法は、温泉、地下水、トンネル調査等の土木分野の調査に多くの実績があり、地すべり調査にも何例か利用されている。しかし、多くは新第三紀の泥質岩の地すべりに対してであり、中硬岩地域の地すべり調査にはあまり適用されていなかった。

今回、筆者は、中硬岩地域で地質構造に規制された風化岩のトップリングを原因とする地すべりに対し比抵抗映像法を適用する機会を得た。その結果、地すべりの誘因となっている風化岩と、新鮮岩との境界を比抵抗値の相違として比較的明瞭に捉えることができた

ので、その調査結果について報告する。

2. 調査概要

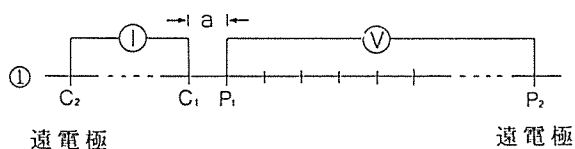
調査対象地区は緩やかな台地状地形の末端部にあたり、河川沿いの沖積低地に面する小尾根の先端部にあたる。調査地の地質は、古生代二畳紀のチャートを挟有する粘板岩と、これを覆って表層部には火山灰およびロームからなる火山噴出物が広く分布する。粘板岩は深部まで風化が進んでおり軟質化しているが、岩組織は残留しており、表層から徐々に新鮮岩へと移行する。このような地形・地質状況において、道路改良に伴った斜面の開削時に地すべりが発生した。そこで、物理探査によって地すべりおよびその原因となる風化部の深度や平面的な広がりを把握することが急務となった。

物理探査は、現地条件（周辺環境や緊急性など）から非破壊性、迅速性、経済性を考慮する必要が生じた。探査手法は、調査地の地質分布から風化部と新鮮部との比抵抗値の違いに着目し、その違いを精度良く探査できる比抵抗映像法を計画し、実施することにした。

比抵抗映像法は二極性の電極配列による水平電気探査を用いて測定を行った。

測線は、図-1に示すように、斜面方向の風化部分の分布状況を知るための2測線と、地すべり土塊の水平方向の広がりを把握するために1測線の、合計3測線とした。それぞれの最小電極間隔は4mとし、今回の地すべりでは風化部の深度が深いことが予想されたので探査深度は48m~50m程度とした。

二極の電極配列



C₁, C₂ : 電流電極
P₁, P₂ : 電位電極
a : 電極間隔

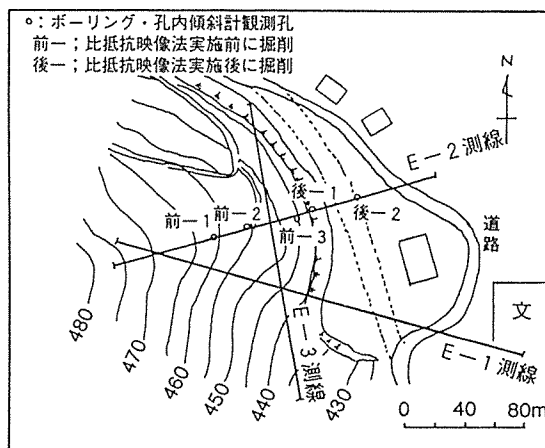


図-1 測線配置図

3. 調査結果

現地で得られた測定データをコンピュータを使い比抵抗映像法により解析した。解析は、測定データに地形補正、感度補正を施した後、リニアフィルタ法により地盤の真の比抵抗分布を求め、それに対して有限要素法 (FEM) による追加修正を行った。解析手順を図-2に示す。

図-3に得られた比抵抗値分布の鳥瞰図を示す。調査地では表層付近に高比抵抗値が分布し、山頂部ほど厚くなっている。事前のボーリング調査等の結果と対比するとほぼ $60\Omega\text{-m}$ を境として高比抵抗値部分が風化岩、低比抵抗値の部分が新鮮岩に相当すると判断した。この結果から、風化部の層厚は山頂付近では40m以上に達していることが推定される。

比抵抗映像法の実施後、E-2測線上で比抵抗映像法の解析結果の補完・検証のため追加ボーリング調査を行った。さらに、このボーリング孔を利用して孔内傾斜計観測も実施した。

図-4に、ボーリングコア観察による岩級区分と変位記録および比抵抗値分布を示す。これらの結果からも比抵抗値分布でおおよそ $60\Omega\text{-m}$ 以下の部分に新鮮岩 (CM) が分布していることがわかる。一方、比抵抗値が $100\Omega\text{-m}$ 以上を示すところは風化の進んだゾーンに相当し、この部分でトップリング状の大きな変位が観測されているので風化部の一部が地すべり土塊となっていることがわかる。

今回の解析結果では風化部を高比抵抗値として捉えたが、これは風化岩盤では岩石の組織が壊れ空隙が大きくなっているためであると推定される。また、比抵抗値が漸移的に変化していることから、地表から徐々に風化の程度が弱くなっていると考えられる。

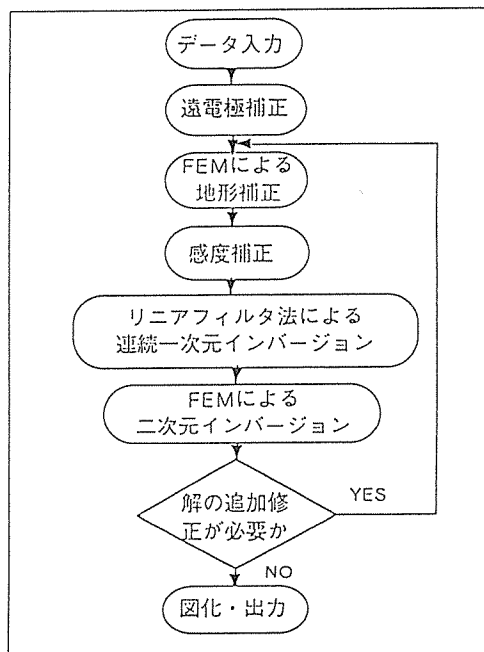


図-2 比抵抗映像法の解析流れ図

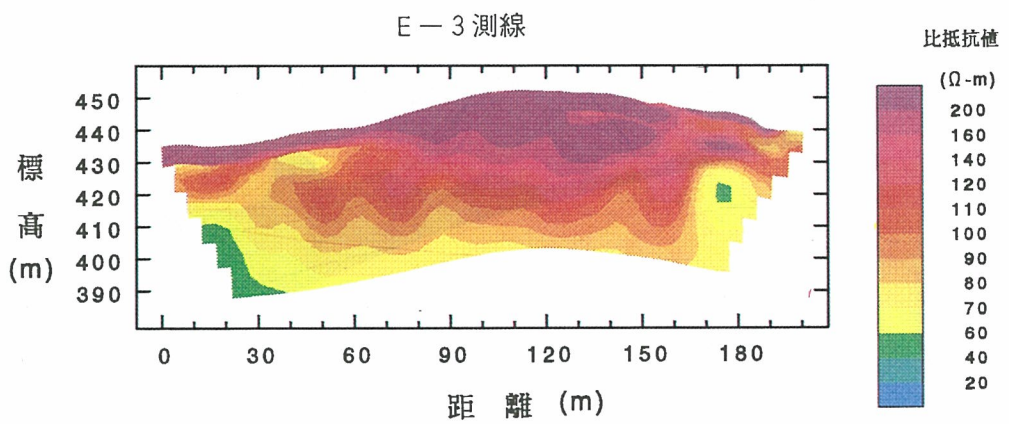
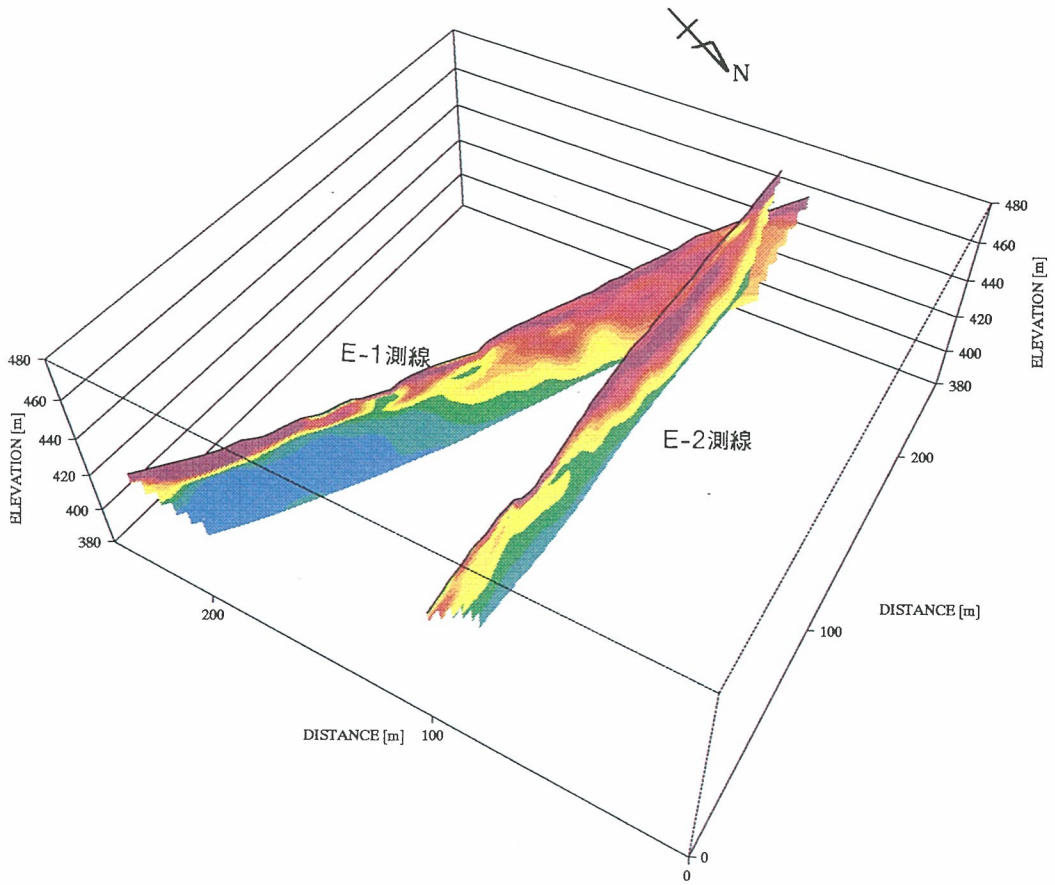


図-3 比抵抗値分布図
(上段：E-1 および E-2 測線, 下段：E-3 測線)

地質記号	地質名
mf	火山泥流堆積物
S ℓ	チャート質粘板岩

岩級区分	記 事
C M	短棒状又は棒状コア。ほぼ新鮮。割れ目沿いの一部が黄褐色化。
C L	角礫状又は、短棒状コア。割れ目沿いは強風化し、褐色化。
D H	粘土状及び角礫状コア。粘土化した部分が50%以下。角礫状岩片が混在。岩組織が明瞭に残留
D L	粘土状コア。粘土化した部分が50%以上を占め軟質な岩片が混在。岩組織が不明瞭。

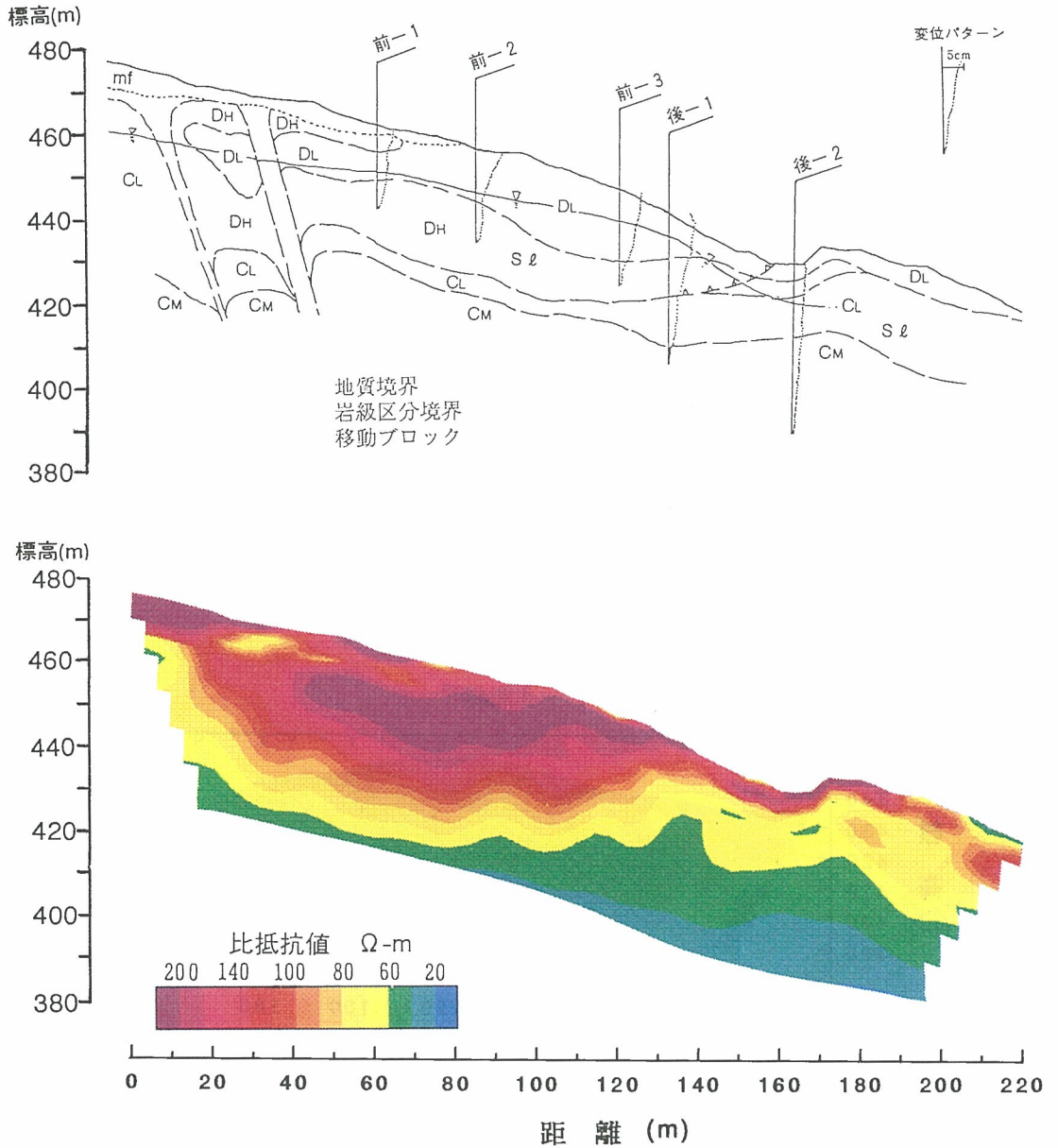


図-4 E-2 測線での岩級区分・孔内傾斜計変位分布(上) および比抵抗値分布(下)

以上のように、比抵抗映像法により解析した比抵抗分布は、調査地の地質構造や岩級区分を良く反映した結果となった。この理由としては、今回の調査地では、表層付近を除いて調査領域のほぼ全体が粘板岩であり、岩種が単一であったことにより風化の度合が比抵抗値の違いとして精度良く測定されたものといえる。

4. まとめ

今回、比抵抗映像法を中硬岩地域の地すべり調査に適用した結果、比抵抗値分布から風化岩と新鮮岩との境界を求めることができた。今回の調査では、比抵抗映像法を実施したことで、ボーリング調査だけでは把握できなかった地すべりの広がりがわかり、対策工の検討に大いに役立った。このように、地すべり調査において、比抵抗映像法を実施することによりすべり領域が特定できるので、適切な対策工を含めた設計・施工が可能となる。

ところで、地質調査における物探屋の役割や面白さは、地質屋や土質屋らが地表地質踏査やボーリング調査などから推定した地質・土質構造を、これらが固有にもつ物理量を調査目的に応じて適切な手法を選定・適用し、各種の解析技術を駆使しながら明らかにしていくことであると思っている。今回の調査は、まさに物探屋の腕の見せどころで、忘れられない現場の一つとなった。今後、硬岩地域や複数の岩種からなる地すべり地域へも比抵抗映像法を適用し、その有効性を確認していきたい。

〈参考文献〉

島裕雅 坂山利彦 1986：電気探査・二次元自動解析による地盤構造の把握、第21回土質工学会発表会

島裕雅 1990：比抵抗二次元簡易解析法と適用例、物理探査学会第82回学術講演会論文集

小野寺透 吉中龍之進訳：ファックブレイ岩盤斜面工学、朝倉書店

(応用地質(株))