

$\rho_a - \rho_u$ 探査法による電気探査

薦田 靖志

1. はじめに

近年、比抵抗映像法、 $\rho_a - \rho_u$ 探査法等の高密度電気探査技術が開発され、新しい地盤調査技術として注目されている。

これらの高密度電気探査技術の特徴は、地表からの探査で地下の比抵抗構造を可視画像化することであり、医療用のCTスキャンに対応するジオトモグラフィ技術の実用化、電子技術やコンピューター技術の発展が大きく貢献している。

地下空洞調査、地盤調査、地下水調査をはじめとする土木分野に高密度電気探査を適用する例が増え、その有効性が確認されてきている。

ここでは、高密度電気探査の1手法である $\rho_a - \rho_u$ 探査法についての紹介を行う。

2. 高密度電気探査技術

これまでは、地盤調査等の土木分野に適用される電気探査としては、比抵抗法による垂直探査（ウェンナー法、シュランベルジャー法等）が多用されてきた。垂直探査は、測定点を中心に電極間隔を広げながら測定を行い、各電極間隔毎に見掛け比抵抗を算出し、測点下の深度方向の比抵抗変化から層状構造を推定し、地下を水平多層構造として解析する手法である（図1）。解析断面は、測点毎に解析結果を表示して並べ、対応する層を結んでいたため、測点間に断層や空洞等がある場合には検出が困難であった。

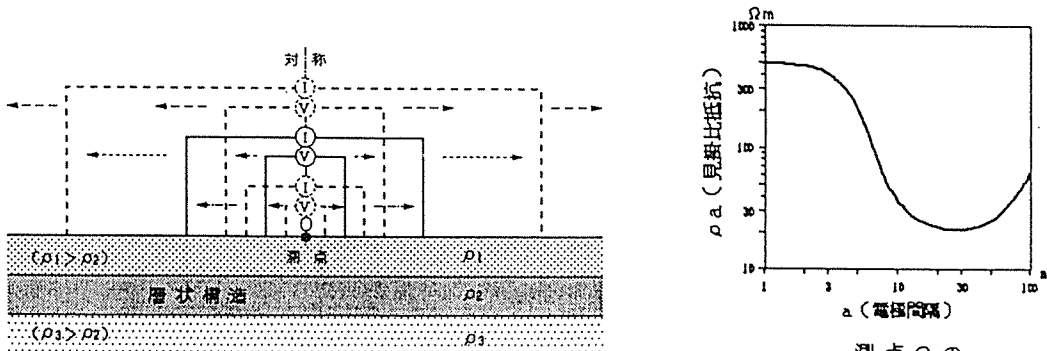


図1 電気探査（比抵抗法）垂直探査概念図

測点Oの
 $\rho_a - a$ 曲線

高密度電気探査は、測線上に多数の電極（測点）を等間隔で設置し、電流電極を切り替えながら多数のデータを取得し、測線上の全データを用いた自動解析により地下の比抵抗構造を求める。解析結果として可視画像化された比抵抗構造断面が作成され、地下構造をより詳細に表現することが可能となった（図2）。

高密度電気探査は、解析手法の違いにより $\rho_a - \rho_u$ 探査法や比抵抗映像法等に分類されている。

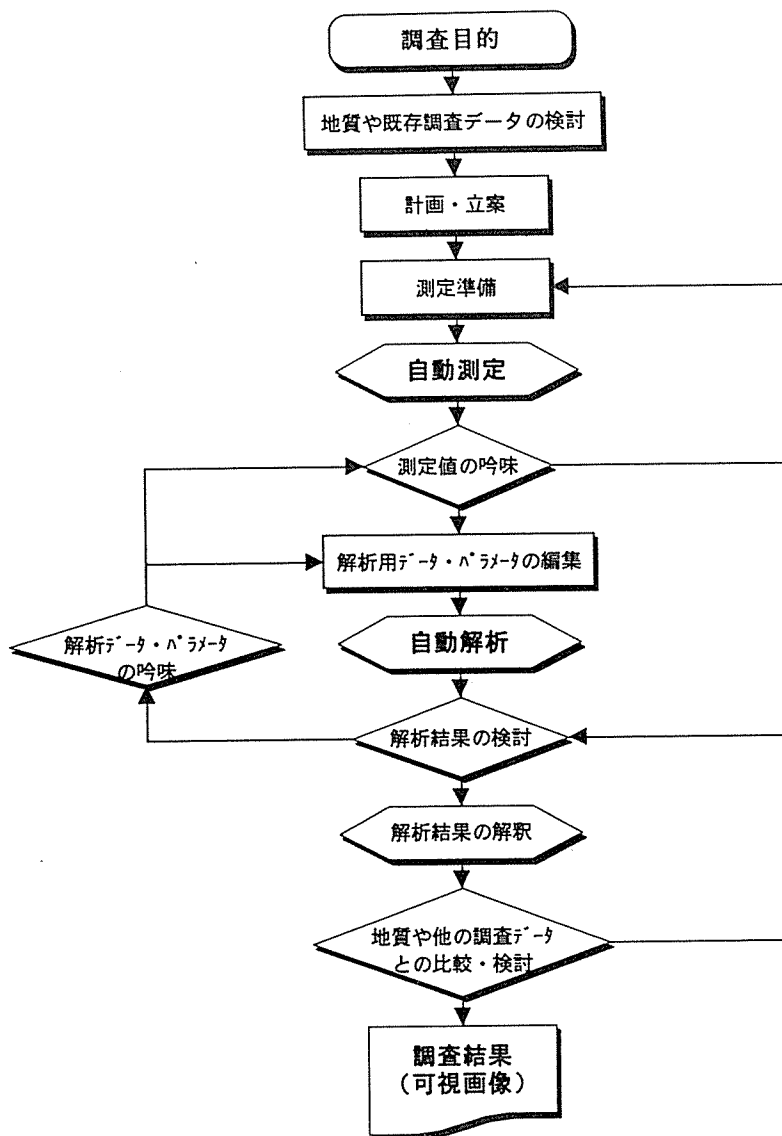


図2 高密度電気探査のフロー

3. $\rho_a - \rho_u$ 探査法

$\rho_a - \rho_u$ 探査法は、「財団法人物理探鉱研究会」（理事長 吉住永三郎 京都大学名誉教授）が開発した手法である。

地下を単位体積の一辺が電極間隔に等しい正方形のユニットに分割し、測定した見掛け比抵抗（ ρ_a ）から各ユニット（単位体積）の比抵抗（ ρ_u ）を解析する手法である。地下構造を示す比抵抗断面は、単位体積抵抗の集合体で表示される（図3）。

解析方法は、各ユニットの比抵抗（ ρ_u ）を変えながら見掛け比抵抗（ ρ_a ）を計算し、計算値が観測値にはほぼ等しくなるまでシミュレーションを繰り返す反復法である。

解析精度は、分割したユニット（単位体積）の大きさに規定されるため、探査目的、対象に応じた電極間隔の設定が重要となる。

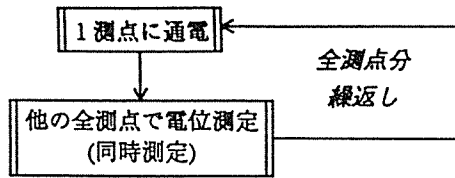
解析結果は、各ユニットの解析比抵抗を基に、 ρ_u -地質図、 ρ_u -単位体積図等の画像として表現される。これらの画像の特徴は、比抵抗の値そのものを表示せず、探査地域の標準的な比抵抗を基準にして解析比抵抗を9段階あるいは16段階に分類し（等級区分）、段階毎に着色した相対的な画像として表示することである。このような画像にすることで、地下構造の解釈が容易になる。ユニット毎に比抵抗が解析されているため、探査地域の比抵抗と透水性や力学定数等との関係がわかれば、ユニットを要素とした有限要素法により浸透流解析や地盤解析を行うことができる。

また、探査地域で目的に応じた解釈の鍵となるkey比抵抗を抽出し、これを基準とした相対評価画像を表示することにより、目標対象物等を鮮明にすることが可能である。

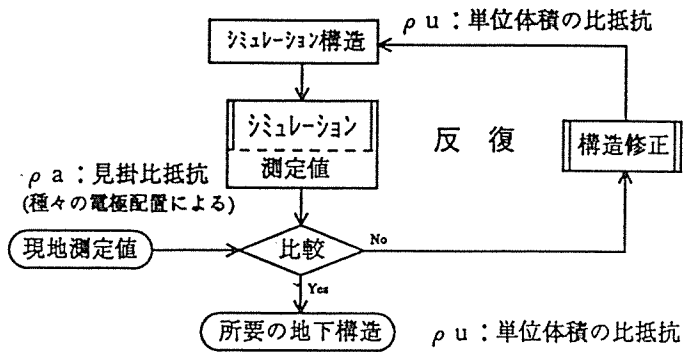
$\rho_a - \rho_u$ 探査法の特徴から、従来の電気探査では捕らえることが難しかった地下の空洞、断層等弱線の抽出が可能である。精度の良い解析を行うには、対象規模に応じた電極間隔の設定が必要である。探査深度は電極間隔の10～20倍程度で、地下数10m規模の比較的浅部を対象とした探査に有効である。

なお、 $\rho_a - \rho_u$ 探査法の解析は、 $\rho_a - \rho_u$ 協会（大阪）を通して、財団法人物理探鉱研究会に依頼できる。

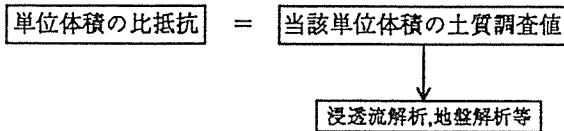
測定



解析



解釈



検証

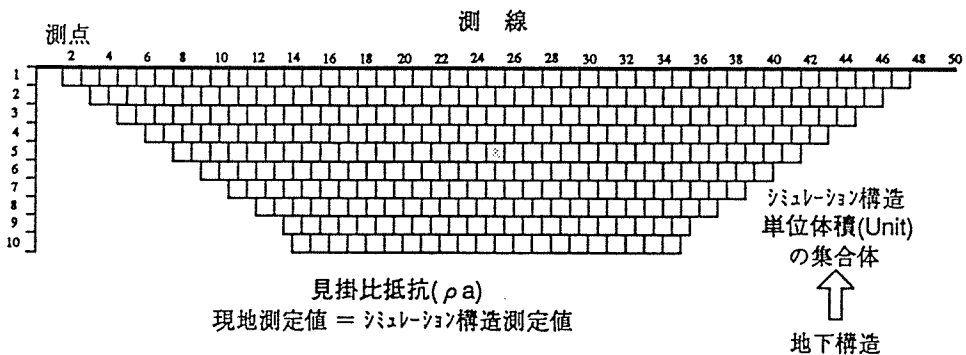
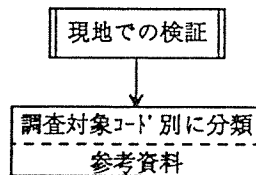


図3 $\rho a - \rho u$ 探査法フロー

4. $\rho a - \rho u$ 探査法の適用例

工事中の道路土工区間（切土と盛土区間の境界部）での探査例を示す。

地質は、新第三紀鮮新世の軟質な堆積岩類（砂岩、泥岩）から構成され、 $20 \sim 30^\circ$ 傾斜の単斜構造を示す。岩盤状況は、固結度の低い軟岩が主体で、表層部付近は風化による土砂化が進んでいる。

切盛りの土工がほぼ終了した時点で地盤の変形に関する問題が生じたため、詳細な地下構造を把握する目的で $\rho a - \rho u$ 探査法による調査を実施した。

測線長75m、電極の測点間隔は1.5mとし、探査深度は15mを目安とした。測定装置は、50ch同時測定ができる多チャンネル電気探査装置を用いた。

（解析結果）

解析比抵抗を9段階に区分した ρu 地盤図を図4に示す。

比抵抗構造は、次表の3層構造に区分された。

表1 比抵抗区分

層区分	電氣的性質（等級区分）	対応地質	深度
第1層	低比抵抗（等級1～2）	盛土、崩積土	浅 深
第2層	やや低比抵抗（等級3）	岩盤風化部、劣化部	
第3層	高比抵抗（等級6～9）	岩盤新鮮部	

第1層は主に盛土、第2層は盛土（第1層）の下位にある岩盤風化層に対応する。

第3層は切土区間及び盛土の下位に分布する新鮮な岩盤に相当する。図4の右下には岩相の境界を示す構造（等級7と8の境界、約 20° の傾斜）が想定され、これは地質データから裏付けられた。また、盛土と切土の境界部付近の岩盤中には劣化部が存在し、解析結果から風化が比較的深部まで及んでいるものと判断された。この岩盤劣化部（風化帯）が地盤変形の原因であった。

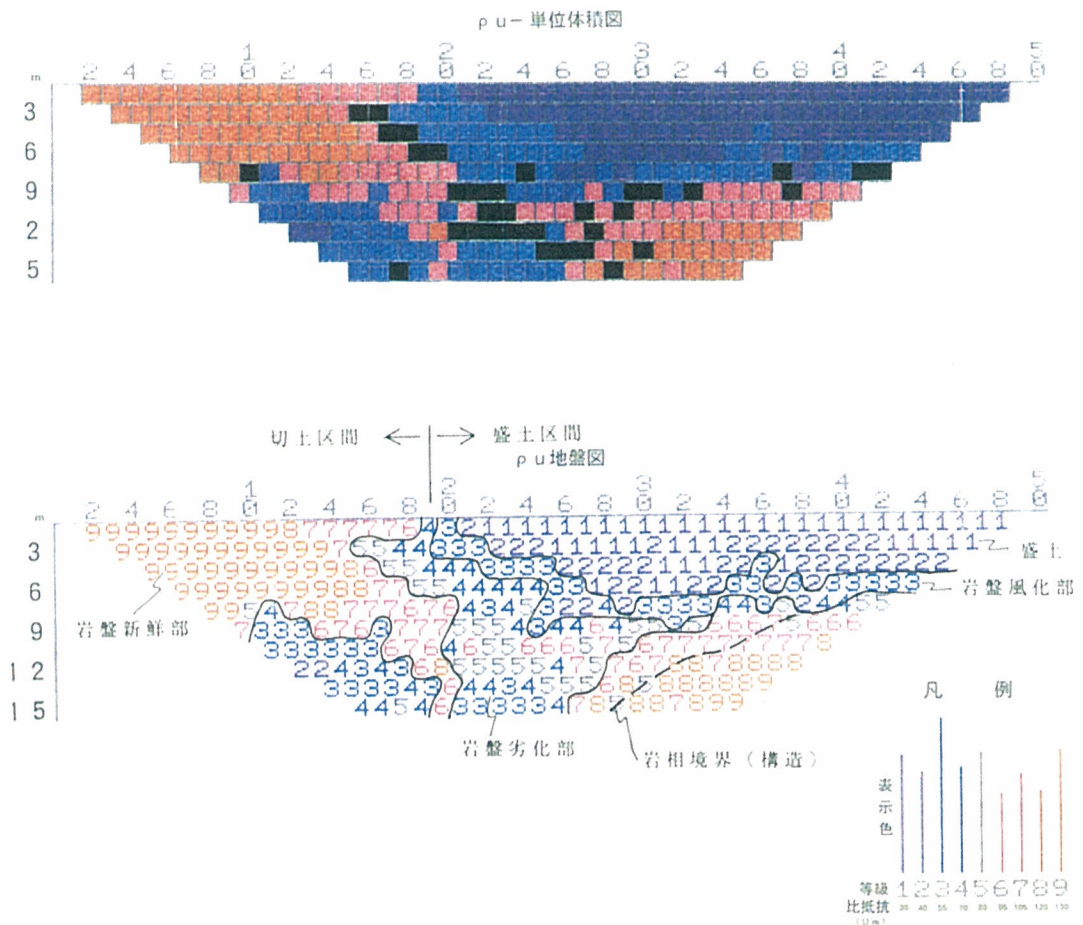


図4 ρu 地盤図(解析断面図)

5. まとめ

$\rho a - \rho u$ 探査法は、電極間隔の設定次第ではかなり詳細な地下構造を把握することが可能である。

本探査法の特徴から、比較的浅部を対象とした地盤調査、地下水調査をはじめとする土木分野での適用実績が増えている他、近年は地下深部を対象とした断裂系調査への適用も報告されている。

探査技術の1つの手法として紹介した $\rho a - \rho u$ 探査法が、今後さらに発展し、社会のニーズに応えられるよう期待している。

(住鉱コンサルタント(株))