

(S2-23) 電気伝導度測定による地層判定

○和知剛¹・小林裕一¹・清水祐也¹・北詰昌義²・川元勇治²¹株式会社アイ・エス・ソリューション・²株式会社フジタ

1. はじめに

ボーリングコアを用いた地質鑑定は、コア径 4~9cm という限られた範囲の情報を読み取らなければならない、難しい作業である。地層の鑑定では、構成される粒子の粒径のみから機械的に分類されるものではなく、全体の淘汰や不均質性、固結の程度等、経験に基づいた総合的な判断が必要とされる。ボーリング調査におけるコア観察では、全く同じボーリングコアを読んだとしても、観察者の地質学的バックグラウンドや個人の特性(癖)など主観的な要因により、鑑定結果に差が生じることが多い。

国内で土壌・地下水汚染問題が顕在化してきた時期には、現在のように無水掘りの掘削機材の開発が進んでいなかったこともあり、国内の土壌・地下水汚染調査では泥水を使ったロータリーボーリングが中心であった。土壌採取後の調査孔では、地層の比抵抗を測定する電気検層がセットで行われることが多く、肉眼でのコア観察に物理的試験としての比抵抗測定の結果を加え、帯水層を評価してきた。また、土壌を採取しないノンコアの地下水開発用ボーリングであっても、電気検層を行うことで水理地質構造が把握でき、スクリーンの設置深度等の決定に利用されてきた。

後年、土壌・地下水汚染のボーリングは、原則として泥水を使わない無水掘りに移行し、掘削後の裸孔は崩壊するか、サンプリング後のケーシングの追い打ちにより裸孔が得られないこともあり、調査孔を用いた比抵抗測定の機会は少なくなった。土壌採取方法の改良により、泥水を介した汚染物質のボーリングコアへの混入はなくなったが、客観的データとして、地質構造を把握できる電気検層を使う機会は失われていった。

しかし、近年になって、ボーリング後の削孔済みの孔を利用せず、直接プローブを地中に打込むことにより測定される電気伝導度から地層を判定する方法が米国から紹介され、国内でも実績が増えてきている¹⁾。

本報告では、電気伝導度による地層判別のしくみを説明し、従来の電気検層(比抵抗測定)と比較する。また、実際の調査事例で、電気伝導度を用いた地質判別の有効性を示すとともに、オールコアボーリング本数をできるだけ抑え、広範囲の水理地質構造を短期間に高精度に把握した結果について紹介する。

2. 電気伝導度による地層判別のしくみ

2.1 地層別の電気伝導度特性

一般的に、シルトや粘土など粒子の小さい地層は含水が高く電気伝導度が高い。一方、砂や砂礫など粒子の大きい地層は含水が低く、電気伝導度が低くなる傾向がある(図-1)。

電気検層において測定される比抵抗は、電気伝導度と逆数の関係にある。両者とも測定対象の地層中に電流を流し、その結果生じる地層中の電位差を測定し、最後に計算によって比抵抗を求めるか電気伝導度とするかの違いである。

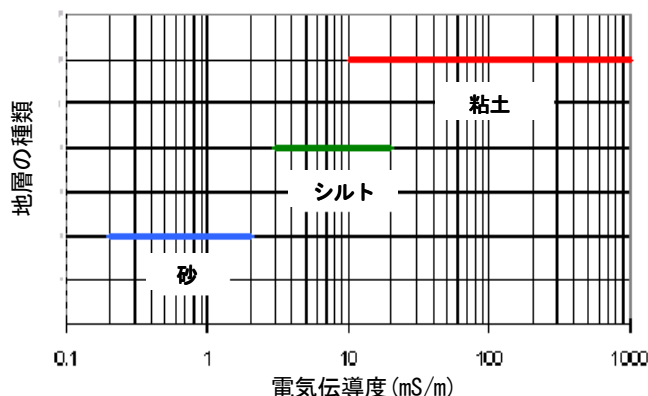


図-1 地層別の電気伝導度

※実測では、この範囲に入らないこともある

2.2 電気伝導度測定における電極配置

電気伝導度の測定プローブの外観を写真-1、電極配置の概略を図-2に示す。使用する電極は、4極の電極が2.5cmの等間隔で並び、両端2極が電流、内側2極が電位差を測定するウェンナー配置となっている。

Decision of Geology using Electrical Conductivity

Takeshi Wachi¹, Yuichi Kobayashi¹, Yuya Shimizu¹, Masayoshi Kitazume², and Yuji Kawamoto¹(In Situ Solutions,²Fujita Corporation)

連絡先: 〒101-0041 東京都千代田区神田須田町 2-5-2 (株) アイ・エス・ソリューション

TEL 03-5297-7288 FAX 03-5297-0242 E-mail wachi@is-solution.com



写真-1 電気伝導度測定プローブの外観

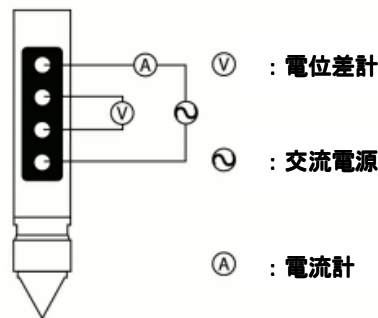


図-2 電気伝導度測定プローブの電極配置 (4極法・ウエンナー配置 (電極間隔 2.5cm))

3. 従来法との比較

電気検層では、電流を流す2本の電極と電位を測定する2本の電極、計4本の電極を使用する。そのうち、何本の電極を孔内に入れるかによって、2極法、4極法などと呼ばれ、それぞれに特徴がある。孔内電気検層は、石油探鉱、地熱・地下水の調査用などで使われているが、ここでは、従来、土壌・地下水汚染調査においては土木調査用に利用されてきた手法で最も広く用いられてきた2極法のノルマル配置と、プローブ打込み型の電気伝導度測定法について、以下に説明し、表-1において両者の特徴を比較する。

3.1 調査孔を用いた電気検層 (2極法ノルマル配置)

2極法ノルマル配置の孔内電気検層時の電極配置を図-3に示す。この方法では、予め所定深度まで掘削した調査孔を泥水で満たしておく必要がある。電流用と電位差用の遠電極を地表に設置し、一定間隔を空けた電流と電位差の電極を孔内に降下させ、電位差を連続的に測定し、比抵抗を求める方法である¹⁾。

3.2 打込み式電気伝導度測定 (4極法ウエンナー配置)

(1) 特徴

この方法は、従来の孔内電気検層と異なり事前に調査孔を削孔する必要がない。等間隔で配列した4個の電極(図-2)を打込みながら電位差を測定していく方法である。

事前の調査孔の削孔や遠電極の設置の必要がなく、1地点当たりの測定時間が短縮できる。

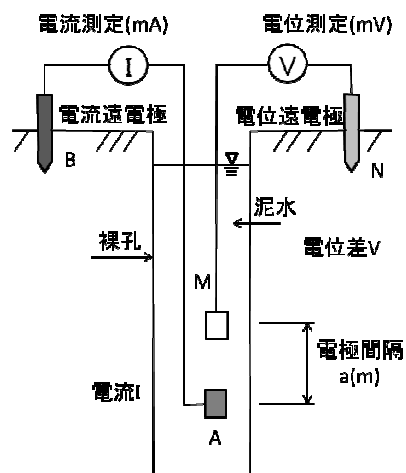


図-3 2極法 (ノルマル配置) の電極配置

表-1 電気検層 (2極法・ノルマル配置) と打込み式電気伝導度測定の主な特徴の比較

区分	項目	ボーリング孔を用いた電気検層 2極法 (ノルマル配置)	プローブ打込み式電気伝導度測定 4極法 (ウエンナー配置)
事前作業	削孔済調査孔	必要 (泥水で充填)	不要 (直接プローブ打込み)
電極配置	孔内電極数	2極 (2芯線)	4極 (4芯線)
	地表電極	遠電極2極	無し
測定能力	深度	300m以深でも可能	60m程度 (地盤の状況による)
	対象地盤	全て	未固結地盤
	測定効率 (裸地) (10m×1地点)	2日程度 (仮設撤去、削孔、測定まで一式)	30分弱 (設置撤去、測定まで一式)
	測定トラブル	遠電極の接地状況に影響	電極の破損、断線

(2) 測定機材の概要

測定機材は、電極を内蔵されたプローブと地上部のコントローラーに分かれる（写真-1、写真-2）。

先端のプローブで測定された電気信号は、ボーリングロッド内のケーブルを通して地上に送られる。プローブ打込み時の測定深度は、掘削機の打撃ハンマーが上下する往復動作をリール型のデプスエンコーダーで検知し、深度データがコントローラーに送られる。同時に測定された電流及び電位差をもとに算出された電気伝導度とともに、コントローラーの画面に、リアルタイムに連続的に測定データが表示される。

鉛直方向の解像度は2cmで、1秒間に20回のサンプリングによりデータが記録される。

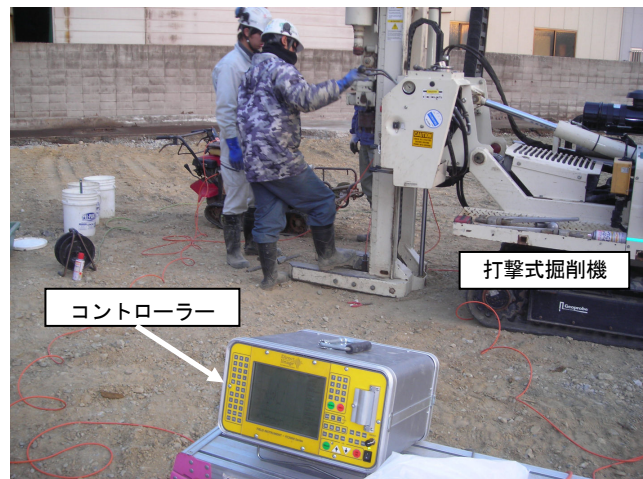


写真-2 電気伝導度測定状況

4. 適用事例

4.1 電気伝導度測定導入の経緯

対象地では、既存汚染調査が実施され、薬剤注入による原位置浄化工事が予定されている。原位置浄化では、帯水層を狙った正確な薬剤注入が求められるが、ボーリング柱状図を並べ比較してみると、砂・礫層だけでなく、本来水平方向の連続性の良いシルト層においても連続しない場合が多く、水理地質断面が描けない状況であった。

対象地は、沖積低地で砂礫を挟むシルト優勢の地層であり、元々、連続性は高くないと思われた。しかし、約1m離れた地点で実施された2本のボーリング柱状図においても、両者の地質は大きく異なっている状況などから、コア観察者の読み取り能力や癖による個人差である可能性が疑われた。

いずれの原因にしても、浄化対策開始までには、高精度な3次元的水理地質構造を把握することは必須であり、通常のオールコアサンプリングと電気伝導度測定を組合せて調査を実施した。

4.2 地層観察結果と電気伝導度の対比

対象地では、まず自走式打撃式掘削機を用いて、深度11mまでオールコアでサンプリングし地質を鑑定し、その後、同地点から約1m離れた地点で電気伝導度測定を実施した。コア観察の結果を地質柱状図にまとめ、連続した電気伝導度データを並べてみると、図-4のようになった。

砂や礫の電気伝導度は20~30 mS/m、シルトは30~50 mS/m、粘土は70 mS/mとなり、ボーリングコアの観察結果と非常に高い相関が確認された。特に、礫混じりの地層は総じて砂よりも低く、20 mS/mを超えない。このことから、対象地における電気伝導度を使った地質判別は可能であると判断し、広範囲に電気伝導度測定地点を配置し、測定を実施した。

4.3 水理地質構造の推定

3地点のボーリングコアと7地点の電気伝導度の測定結果をもとに推定した水理地質断面を図-5に示す。

電気伝導度から推定された地層は、全体として、側方への連続は比較的良好。深度4m付近の礫の層厚は、BI-2およそ1mであるものが、20m離れたBI-6では20cmと薄くなっているものの、対象地全

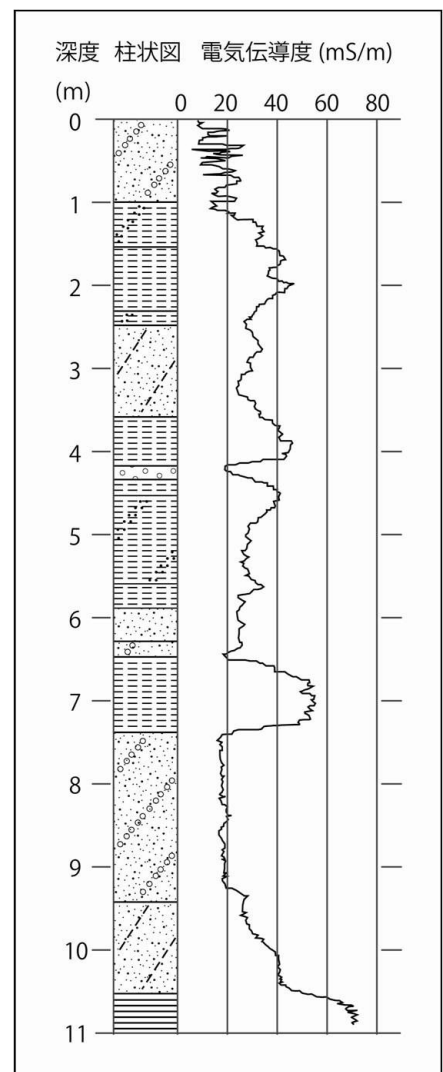


図-4 電気伝導度と地層の比較

体に存在することが分かった。土壌・地下水汚染は、浅部ほど濃度が高い傾向があるが、帯水層の形状と連続性を把握することは、浄化を効率よく進めるうえで不可欠である。

打込み式電気伝導度測定は、裸地の状態で、1日当たり深度11mを15地点、実施することが可能であった。

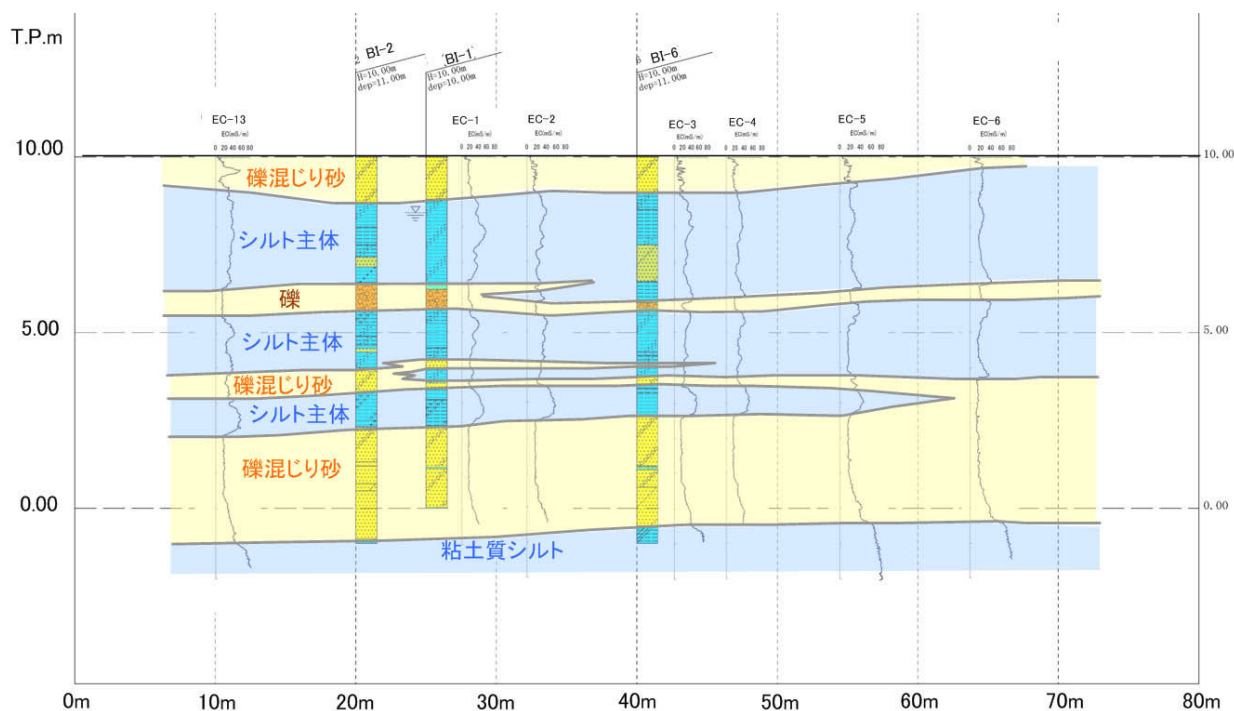


図-5 水理地質構造推定断面

5. おわりに

通常のオールコアボーリング調査に、打撃式の電気伝導度測定を組合せることにより、短時間に、精度高く地層の判別や水理地質構造を把握できることを確認した。水理地質構造の把握において、ボーリングコアの鑑定を補助するために、電気伝導度による客観的なデータを取得し、評価することが重要である。

これまでロータリーボーリング調査においてコア採取後に電気検層を実施し、水理地質構造の評価の精度を高めていたように、たとえ調査深度が5m程度と浅い無水掘りのボーリングの調査においても、電気伝導度測定を併用し、評価を行っていく必要があるのではないかと考える。

ボーリングによるサンプリングでは、どのような方法で採取しても、コアが縮んだり、伸びたり、液状化で試料が落下したり、採取する地層境界の深度は、実際のものとは異なってくる。このような場合でも、打撃式電気伝導度測定であれば、先端に電極を付けたプローブを直接打込むことにより、正確な地層境界の深度が得られる。このデータをもとに、詳細な帯水層の形状を評価できることで、DNAPLやLNAPLの溜りや移動経路を精度高く推定することが可能となり、浄化対策の効率化に直結することとなる。

その他の特殊な利用例として、薬液注入による地盤改良効果の判定が報告²⁾されている。それ以外にも、土壌中の塩類が多いほど、電気が流れやすくなる性質を利用し、肥料の分布などの調査等にも応用できる可能性があると考えられる。

6. 参考文献等

- 1) 関東地質調査業協会技術委員会(1995)：新編ボーリング孔を利用する原位置試験についての技術マニュアル，関東地質調査業協会。
- 2) 小林裕一・安原雅子・佐藤秀之・山内仁(2011)：ダイレクトプッシュテクノロジーによる原位置浄化施工のモニタリング，第17回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集。