

59. 電気伝導度検層による岩盤中の水みちの抽出

Identification of the water-conducting features (fracture conduit) using Fluid Electric Conductivity Logging

松岡清幸（物理計測コンサルタント）

Kiyoyuki Matsuoka (GSC)

1. はじめに

ボーリング孔を利用した調査の内、水みちを検出する手法としては、従来からフローメータ検層(スピナー式、電磁式など)や温度検層が用いられてきた。今回、実施した電気伝導度検層は、ボーリング孔内の水を本来の地下水と異なる電気伝導度の水に置き換え、電気伝導度の時間変化を測定することにより、詳細な水みちの位置や水みちの水利特性を把握する方法である。数百 m 以深を対象とした電気伝導度検層は欧米では実績があるものの、我が国の岩盤における報告事例は少ない¹⁾。したがって本測定手法のノウハウや実績を蓄積し、水みちの抽出やその水利特性を効率的に把握できる手法として確立しておくことが、今後、地下深部の地質環境を調査する際に有効となると考える。

2. 調査孔位置および地質概要

調査孔は岐阜県瑞浪市にある（独）日本原子力研究開発機構の瑞浪超深地層研究所用地の南東側約 500m に位置する深度 1012m の鉛直ボーリング孔（DH-15 号孔）である。

本ボーリング孔周辺の地質は、基盤をなす領家帯花崗岩類(土岐花崗岩)と、これを被覆する約 230m の厚さを有する新第三紀中新世の堆積岩（瑞浪群層など）からなる。ボーリング孔は、主として堆積岩が分布する孔口から深度 233m まで直径 6 インチ（約 152mm）のケーシングが設置されているが、それ以深の花崗岩部は掘削径 134mm で掘削した裸孔の状態である。

3. 電気伝導度検層作業手順

検層作業は、以下の手順で実施した。

- 1) 地上部に設置した純水機（イオン交換樹脂装置）を利用して脱イオン水を製造し、タンクに貯蔵した。
- 2) リール車とポンプ車を用いて、ボーリング孔の孔底付近（1000m）までホース（直径 23mm）を降下して、ホース先端から一定量の脱イオン水を送水した。同時に深度 80m 付近に設置した揚水ポンプより、一定流量で孔内水を揚水しながら孔内水を脱イオン水で置換した。
- 3) 脱イオン水に置換した直後、自然状態（孔内水を変動させない状態）での電気伝導度プロファイルを測定した。その後、一定流量で揚水しながら、

揚水開始直後の測定を含めて 2 時間毎に 1 回の割合で、合計 6 回の電気伝導度の変化を測定した。

- 4) 揚水流量は 50/min、100/min、19.40/min の順で、それぞれ脱イオン水により孔内置換した後に測定した。測定プローブの仕様を以下に示す。

- ・ 測定項目 電気伝導度、温度
- ・ 電気伝導度測定範囲 2～5000 $\mu\text{S/cm}$
- ・ 温度測定 0～60 $^{\circ}\text{C}$

4. 検層結果および解析

図-1 に揚水量 50l/分の検層結果を示す。なお、その図の右欄には孔径検層結果を示した。

図-1 の電気伝導度曲線は左側（小さい方）から、孔内水置換後の自然状態、さらに揚水状態直後、揚水開始 2H 後、4H 後、6H 後、8H 後、10H 後の測定結果を示しており、孔内水の電気伝導度は時間と共に徐々に高くなっている。一般に地下水の流入箇所は、電気伝導度の変化が明瞭なピークとして現れる。したがって、特に電気伝導度の変化量が大きい部分では比較的多量に地下水が孔内に流入していると考えられる。

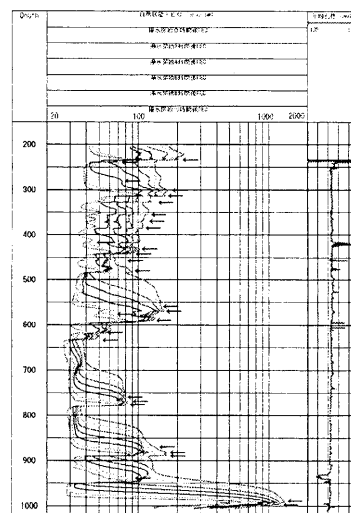


図-1 揚水量 50l/分電気伝導度検層図

図-1 より主要な変化点 29 箇所を抽出した。これらの 29 箇所について数値解析により流量や透水量係数などを求めた。

以下の手順で一次元の移流拡散方程式に基づく数値解析²⁾、³⁾により得られた電気伝導度の変化を再現した。

- 1) 電気伝導度が大きく変化している深度（明瞭なピーク位置）を抽出する。
- 2) 数値解析の入力条件として、各流入点における流入量の変化の大きさに応じて流量を設定するとともに、全ての流入点に同じ塩分濃度（電気伝導度と NaCl の濃度との相関係数から算出）を与える。
- 3) 数値解析により各時間における塩分濃度を計算し、計算値と実測の電気伝導度の分布を比較する。
- 4) 各時間における電気伝導度の実測値を再現するように、上述 2) および 3) を繰り返す。

電気伝導度の温度補正および濃度への変換は、電気伝導度を、20℃の値に換算し(1)式により濃度を求める。

$$\text{FEC} (20^\circ\text{C}) = 1870 C - 40 C^2 \quad (1)$$

ここで、FEC は坑井内流体の電気伝導度[$\mu\text{S}/\text{cm}$]、 C は濃度[g/L](あるいは[kg/m^3])または等価の NaCl 濃度である。異なる揚水条件での解析の結果、フィッティングの状況は良好であった。その結果を図-2 に示す。

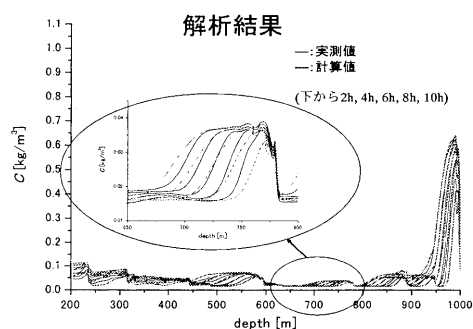


図-2 揚水量 5.00/分電気伝導度検層濃度分布図

次に、図-3、図-4 に計算結果による濃度分布と流量分布を示す。この図より最下部の2点について揚水流量の増加にともなって、変化点の濃度が上昇する傾向があるが、その他の箇所ではほぼ一定の濃度である。

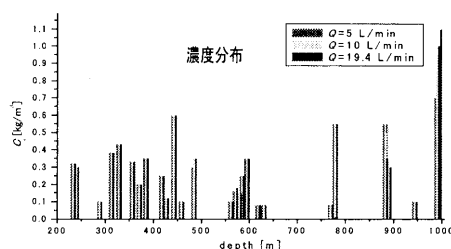


図-3 電気伝導度検層解析による濃度分布図

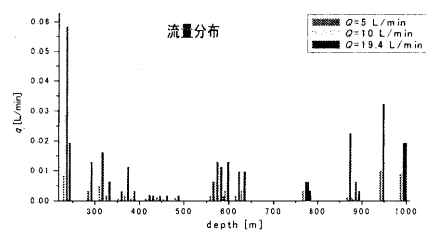


図-4 電気伝導度検層解析による流量分布図

次に、図-5 に各変化点 i での透水量係数 T_i (m^2/s) を示す²⁾。その結果、いずれの変化点においても 1.0×10^{-7} (m^2/s) 以上の高い透水量係数を示したことから、抽出された変化点は水みちであると考えられる。

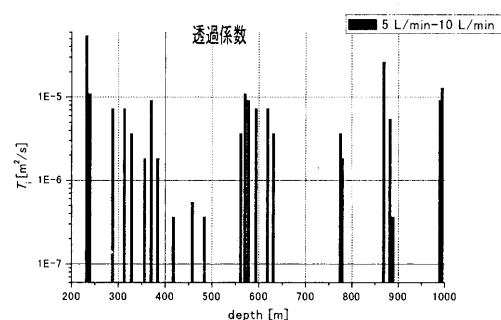


図-5 電気伝導度検層解析による透水量係数分布図

5. おわりに

今回深度約 1000m のボーリング孔において、揚水状態での電気伝導度検層を実施し、数値解析により実測値の電気伝導度分布に対してフィッティングを行い、変化点の濃度および流量を算出した。

今後は、本手法により評価した水理特性の妥当性を検証するために原位置水理試験データとの比較・検討など行う予定である。

参考文献

- 1) 竹内真司, 下茂道人, 城まゆみ, Chin-Fu Tsang : 電気伝導度検層による深部花崗岩中の水みちの抽出と水理特性の評価, 土木学会, 第 33 回岩盤力学に関するシンポジウム (2004)
- 2) Tsang, C.F. and Doughty, C. : Multirate flowing fluid electric conductivity logging method, Water Resources Research, 39(12), 1354 (2003).
- 3) Doughty, C. and Tsang, C.F. : BOREII -A Code to Compute Dynamic Wellbore Electrical Conductivity Logs with Multiple Inflow/Outflow Points Including the Effects of Horizontal Flow across the Well, LBNL-46833 (2000).