

光ファイバ温度検層の水みち推定への適用性について

(財) 電力中央研究所 末永 弘
中川 加明一郎

1. はじめに

花崗岩をはじめとする割れ目系岩盤を対象に水力発電所や地下構造物の立地可能性を検討する際、候補地の岩盤における水みち、すなわち割れ目中の地下水の流路を把握することが重要となる。この、水みちの検出に関しては、これまでフローメータ検層(宮川, 1997)等の試験が行われてきた。

光ファイバは、その物理的な特性から高精度に温度を測定できる事が知られており、ボーリング孔に挿入すると孔内の温度分布を簡便に計測し、地下水の微弱な流れを温度によって検知できる可能性がある。そこで本報告では、光ファイバ温度検層装置(Hutig et al., 1997)を原位置に適用し、温度検層による水みち検出の可能性に関する検討を行った結果を報告する。

2. 測定原理

光ファイバによって温度が測定できる原理は以下の通りである。

光ファイバの一端にレーザー光をパルス状に入射する。するとこのレーザー光は光ファイバの各通過位置で散乱光を生じる(図1)。散乱光は波長の違いにより数種類に分類されるが、このうち Raman 散乱光というものは、周波数成分の違いによりさらに Stokes 光・Anti-Stokes 光と分類され、両者の強度比が絶対温度のみに依存する性質がある。一方、パルス状レーザー光を入射してから散乱光として戻ってくるまでの時間 t と光ファイバ中の光速(既知: c_{fiber})から散乱を生じた点までの距離 d が求まる。以上より、温度距離の情報をプロットすると、ボーリング孔内の連続的な温度分布プロファイルを描くことができる。

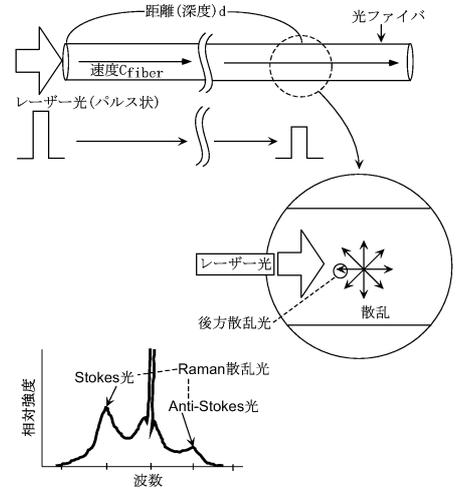


図1: 光ファイバ中の散乱光発生概念図

3. 原位置における測定

測定を行った地点は神岡鉱山跡津坑道内にあるボーリング孔である。ボーリングの孔長は鉛直方向に203mであり、孔壁保護のためボーリング孔口からの深度(以下、深度と表す)75mまではケーシングパイプが入っている。

測定に使用した装置はドイツGESO社製のもので、温度測定距離間隔は最短で0.25m、温度分解能は0.1である。試験装置の概念図を図2に示す。

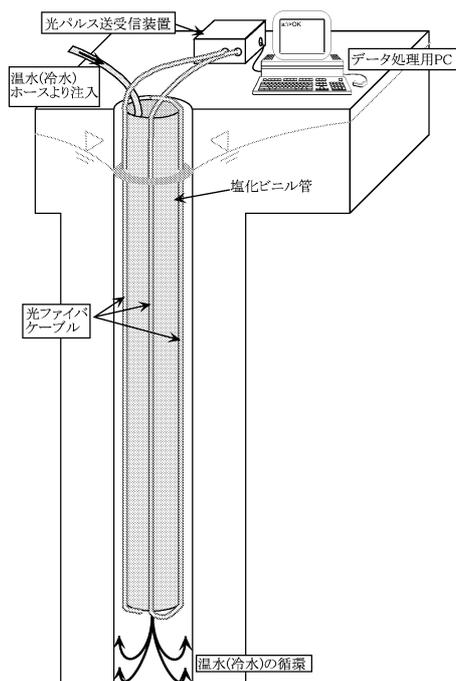


図2: 現場試験装置概念図

ボーリング孔内に塩化ビニル管を挿入し、この管の外周に平面上90度のずれとなるように、長さ1kmの光ファイバケーブルを4つに折りたたんで取り付ける(図2)。これにより孔内の各深度において、4箇所温度を測定できる。装置の適用性検討のため、次の3種類の試験を行った。

自然状態における孔内温度検層

孔内の自然状態の温度分布をモニタリングし、後に行う各試験に対するバックグラウンドを得るため、孔内水の温度分布をモニタリングする。

温水注入試験

塩化ビニル管の内側に温水(温度40~50)を送り込み、孔内水を温水で置換する。温水を注入する間、各深度ごとの温度プロファイルを経時的にモニタリングする。これは、ボーリング孔内の水温を岩盤中の地下水温よりも高くすることにより、水みちを介して地下水が孔内に流入した場合に生じ得る温度低下箇所を検出することが目的である。

冷水注入試験

塩化ビニル管の内側に、孔内水温度よりも低温の冷水を送り込み、孔内水を冷水で置換する。次に揚水を行い、孔内水温度分布をモニタリングする。この試験の目的は、ボーリング孔内の水温を岩盤中の地下水温よりも低くすることにより、水みちを介して地下水が孔内に流入した場合に生じ得る温度上昇箇所を検出することである。

4. 測定結果と考察

測定結果 -水みち個所の推定-

温水注入試験・冷水注入試験結果から、特定の深度において、温水を注入した場合には1.5~2 の温度降下が、冷水を注入した場合には約0.5 の温度上昇がそれぞれ他に先行して生じた(図3)。この温度変化は水みちの存在に起因していると考えられ、もっとも変化量の大きい箇所、すなわち水みちの可能性が高いと考えられる個所は深度110m付近であった。

各試験方法の比較

測定を行った結果、作業性と水みち検出への適用性の観点から、各試験の特徴を以下のようにまとめることができる。

自然状態における孔内温度検層：試験はもっとも簡便であり、短時間に測定可能である。しかしながら温度変化が小さいため、水みちをはっきりと検出することは困難である。

温水注入試験：温水を用意する必要があり、試験を行う現場によっては温水の搬送など測定準備に時間を要する可能性がある。試験においては、温度変化がもっとも大きいため、水みち検出に有効な試験方法であると考えられる。

冷水注入試験：冷水の準備・揚水に関して、温水注入試験と同様測定準備に時間を要する可能性があるが、測定される温度変化は水みちの検出に適用可能なものと考えられる。

透水試験結果との比較

別途行われた透水試験結果によると、深度110m付近における透水係数は $6.61 \times 10^{-7} m/sec$ と、全区間の透水係数の範囲である $10^{-10} \sim 10^{-7} m/sec$ オーダーのうち高い値であった(図4)。このことから、推定した水みちは透水試験における高透水性箇所であることが明らかとなり、試験の有効性が示された。また、推定した水みち箇所以外にも透水係数の高い区間が存在するが、これは透水試験区間に水を圧入することによって一時的に形成された水みちであると考えられる。したがって、光ファイバによる温度検層は自然に存在する水みちの検出にも有効な方法であると考えられる。

謝辞

ドイツGESO社のStephan Großwig氏には、現場実験の指導等をしていただいた。また、神岡鉱山における計測においては、ダイヤコンサルタント(株)の細谷真一、中田充彦の両氏に現場作業を協力して頂いた。試験方法について岡山大学環境デザイン工学科の西垣誠教授に助言を頂いた。現地作業実施にあたり、跡津精密坑道利用地下実験共同事業体(清水建設・ダイヤコンサルタント)の川口公二氏をはじめとして多くの方にお世話になった。以上の方々に感謝する次第である。

参考文献

Hurtig, E., S. Großwig, and K.Kühn(1996): Fibre optic temperature sensing: application for subsurface and ground temperature measurements, Tectonophysics, vol.257, pp.101-109.

宮川公雄(1997):超音波フローメーターの開発とその適用性, 電力土木, no.271, pp.1-6.

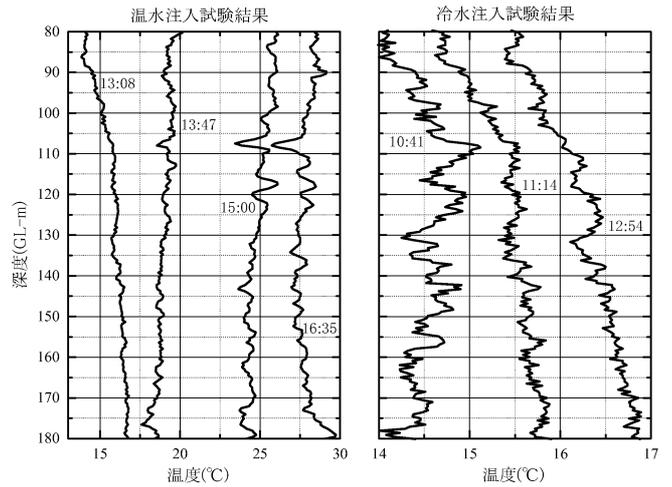


図3: 温水・冷水注入試験結果

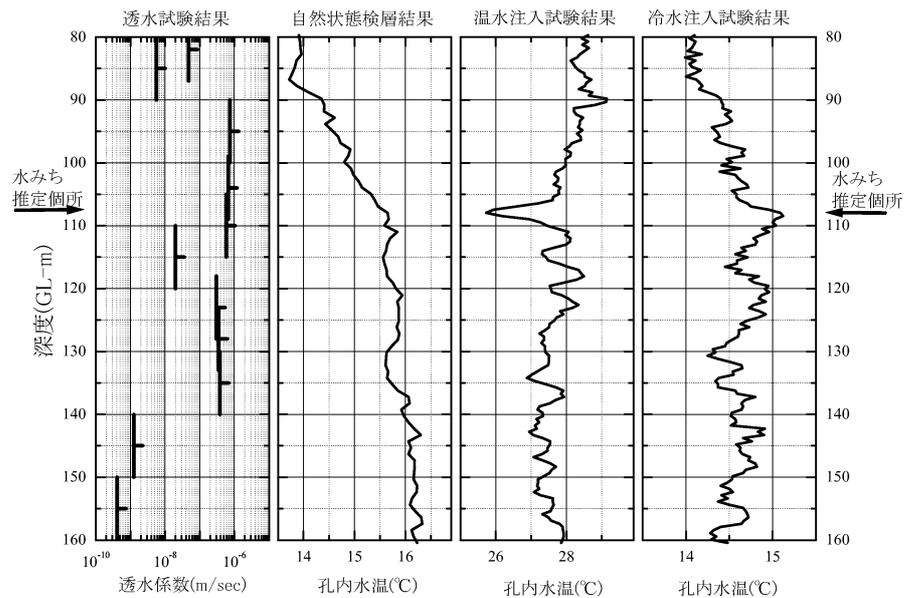


図4: 水みち推定個所の検出