

第 7 章

檢層技術



第7章 検層技術 目次

我孫子研究所 地圏環境部 主任研究員 未永 弘
我孫子研究所 地圏環境部 主任研究員 伊藤 久敏

7 - 1 水みちを温度変化で探る	55
7 - 2 水みちを見る	57



未永 弘（1996年入所）
貯留層内の透水性に関する調査・試験、および地下水流動解析を担当した。透水性に関する試験では、坑井および坑井間の透水性を評価するための注水試験、および地下水の通り道である水みちを検出するため光ファイバによる温度測定などを行った。現在はエネルギー地下貯蔵、CO₂地下貯留、高レベル放射性廃棄物処分等に伴う地下水流動評価に関する研究に取り組んでいる。

伊藤 久敏（8ページに掲載）

7-1 水みちを温度変化で探る

7-1-1 はじめに

貯留層を造成したのち、そこにどの位の量の水を送ることができ、また回収することができるかを調べるためには、どの深度に何箇所水の通り道(水みち)があるかを把握することが重要である。ここでは、坑井内の温度変化を探ることから水みちを検知する技術と、その適用方法について紹介する。

7-1-2 光ファイバによる温度測定

光ファイバによる温度測定原理について、以下に述べる。光ファイバの一端からレーザー光をパルス状に入射すると、光ファイバの各通過位置で散乱光が生じる(図7-1-1)。この散乱光にはRaman 散乱光と呼ばれるものがあり、Raman 散乱光は、Stokes 光と Anti-Stokes 光に

よって構成され、両者の強度比は、絶対温度のみに依存する。したがって、ある位置において、レーザー光の入射方向に対して逆方向に散乱したRaman 後方散乱光の強度を入射位置にて測定すると、光ファイバ中の光速度からこの位置までの距離が算出されるため、温度・深度の情報が得られ、ボーリング孔内の連続的な温度分布が描かれる。

水みちを検知するためには、坑井内に光ファイバを挿入し、注水により坑井内を一旦冷却して、その後の温度回復を測定する。すると、水みちにおいては熱水が流れ込んでいるために、他よりも回復が早いことから、温度プロファイルで特異点となり、水みちの検知が可能となる(図7-1-2)。

7-1-3 水みち検知結果

OGC-3井(新坑井)の孔内を地表水により冷却した後、

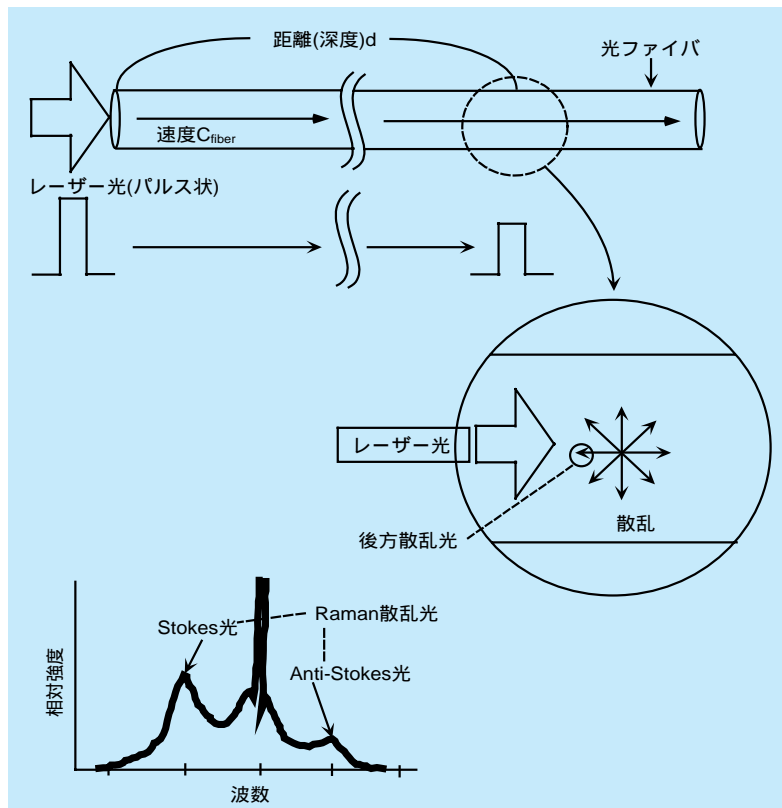


図7-1-1 光ファイバによる温度測定原理

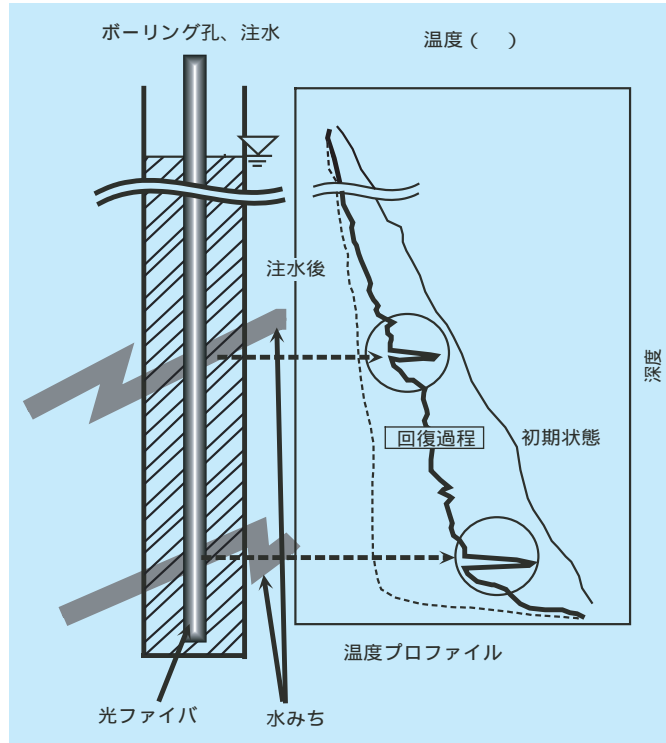


図7-1-2 光ファイバ温度測定による水みち検知原理

OGC-1井（注入井）より注水し、OGC-3井における温度回復をモニタリングした（図7-1-3）。OGC-3井の孔内冷却およびOGC-1井への注水をそれぞれ2回ずつ行った結果、得られた温度プロファイルにおいて、他より

も温度回復の早い深度と遅い深度が互いに一致していることが明らかとなり、これらは水が流動している水みち箇所と推定される。

顕著な水みちのうち、OGC-1井からの注水で早く温度

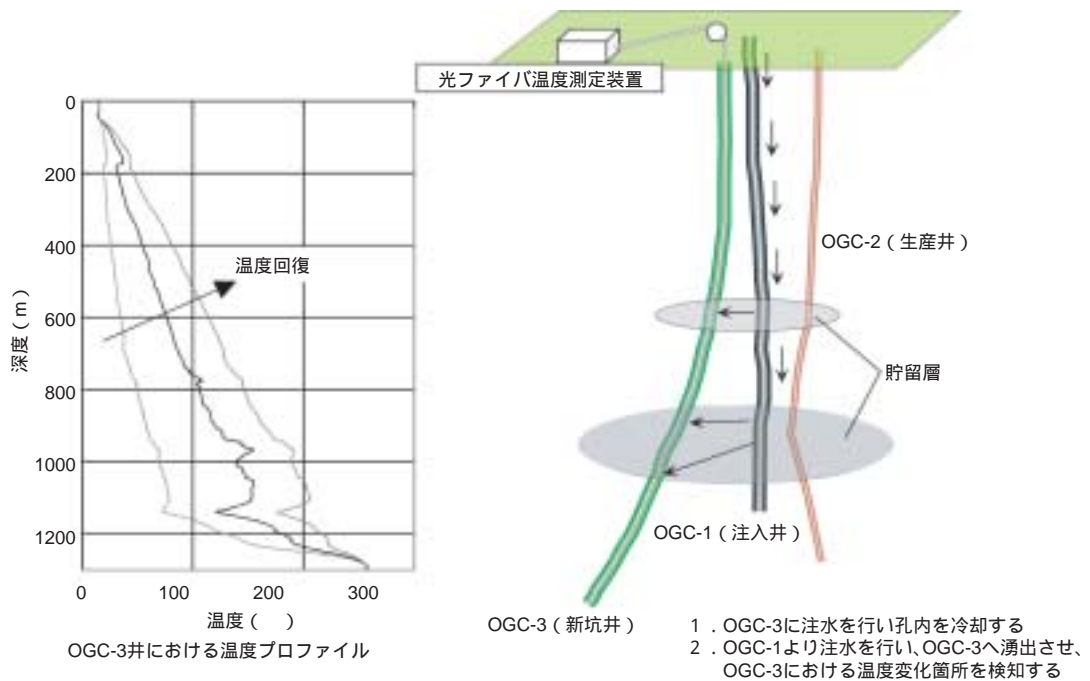


図7-1-3 水みち検知結果

回復するものは、OGC-1井とOGC-3井間の導通箇所と考えられ、回復が遅い深度1137m付近は大きな透水性自然割れ目が存在し、この深度では地下水が流動すると考えられる。導通箇所の深度と導通の程度を正確に特定するため、OGC-3井の温度勾配を直線近似し、各温度デ

ータに対するこの直線からの温度差分を計算した。この結果、温度差分の大きさから、水みちとして推定した深度945m、965m付近が最も可能性の高い導通箇所、深度770m、780m付近が次に可能性の高い導通箇所と判断される⁽¹⁾。

7-2 水みちを見る

7-2-1 はじめに

光ファイバーを用いて温度変化箇所を検知することで水みち箇所の特定ができたが、この方法では、水を流しているものの実体がわからない。おそらく大きな割れ目があることが想像されるが、どのような割れ目がどの方向に伸びているかといった具体的な情報を得ることで貯留層構造がより明確になる。そこで坑井壁面を画像化する検層を適用した。

7-2-2 坑壁画像化装置

坑井壁面を画像化する装置は主に光学カメラを使うもの、超音波を使うもの、比抵抗を画像化するもの、の3種類がある。このうち、光学カメラを使うものは、土木分野ではよく用いられているが、耐熱性の問題とボーリング坑内に溜まっている水が濁っていると坑壁が見えないことから、地熱井ではごく限られた条件でしか使えない。後の二つは地熱井で近年良く用いられている方法であり、雄勝地点でもこれらを適用した。それらの仕様を表7-2-1に示す。

FMI (Formation MicroImager) 検層は、坑井壁面の微小な比抵抗の変化を壁面に当てた多数の電極から読み取り画像化するものである。UBI (Ultrasonic Borehole Imager) とBHTV (BoreHole TeleViewer) はともに坑壁に超音波を当てて得られる反射波の強度と時間のそれぞれについて画像化したもので、前者で岩盤の硬さの程度が、後者で割れ目の開口性が評価できる⁽²⁾。FMIとUBIは大口径の坑井にのみ適用可能であり、OGC-3井に適用した。OGC-1、OGC-2井にはより小口径の坑井に適

用可能なBHTVを適用した⁽³⁾。

7-2-3 適用結果

光ファイバーによる温度測定で検知した温度変化箇所周辺の坑壁画像を詳細に観察した結果、それぞれに水みちの可能性の高い開口性の割れ目が存在したことから、これらを水みち割れ目と判断した。図7-2-1には検知された温度変化箇所のうち深度949m付近と969m付近の割れ目を示した。得られる画像は坑壁の展開画像であり、割れ目はサインカーブとして示される。深度949m付近に矢印で示した水みち割れ目はUBI反射時間の画像から開口幅が5cm程度であることが読み取れ、また、サインカーブ状の割れ目の底部(凹部)での方位が西を示すことから、南北走向で西に傾斜した割れ目であることが読み取れる。また、画像のスケールの縦横比が1:1であることから、この割れ目の傾斜角は概ね30°であることも読み取れる。

次に、坑壁画像化検層により得られた雄勝実験場3坑井の深度毎の割れ目方位分布を図7-2-2に示す。この図は割れ目の方位をステレオ投影図(下半球投影)に示したもので、コンターの密な箇所に割れ目が多いことを示す。例えば、図中のAで示した箇所に割れ目が集中しているが、この箇所は北東-南西走向で約60°南東側に傾斜した割れ目が多いことを示している。雄勝実験場で造成した貯留層は上部で東に、下部で北北東に伸展したが、下部に相当する深度900m以深では北北東-南南西走向の割れ目が多い(特に図中のB)。このことから、特に下部では天然の割れ目方向に人工亀裂が伸展し、この方向に圧入した水が流れたと推定した⁽²⁾⁽³⁾。

表7-2-1 ボーリング坑壁の画像化検層器仕様比較

装置名	FMI (Schlumberger社)	UBI (Schlumberger社)	BHTV (DMT社)
測定項目	比抵抗	反射波強度・反射時間	反射波強度・反射時間
検層器長さ	8.0m	6.3m	4.0m
重量	211kg	155kg	70kg
外径	127mm	118mm	60mm
耐圧	1426kgf/cm ²	1426kgf/cm ²	1440kgf/cm ²
耐熱	175	175	120
解像度	5mm	5mm	5mm

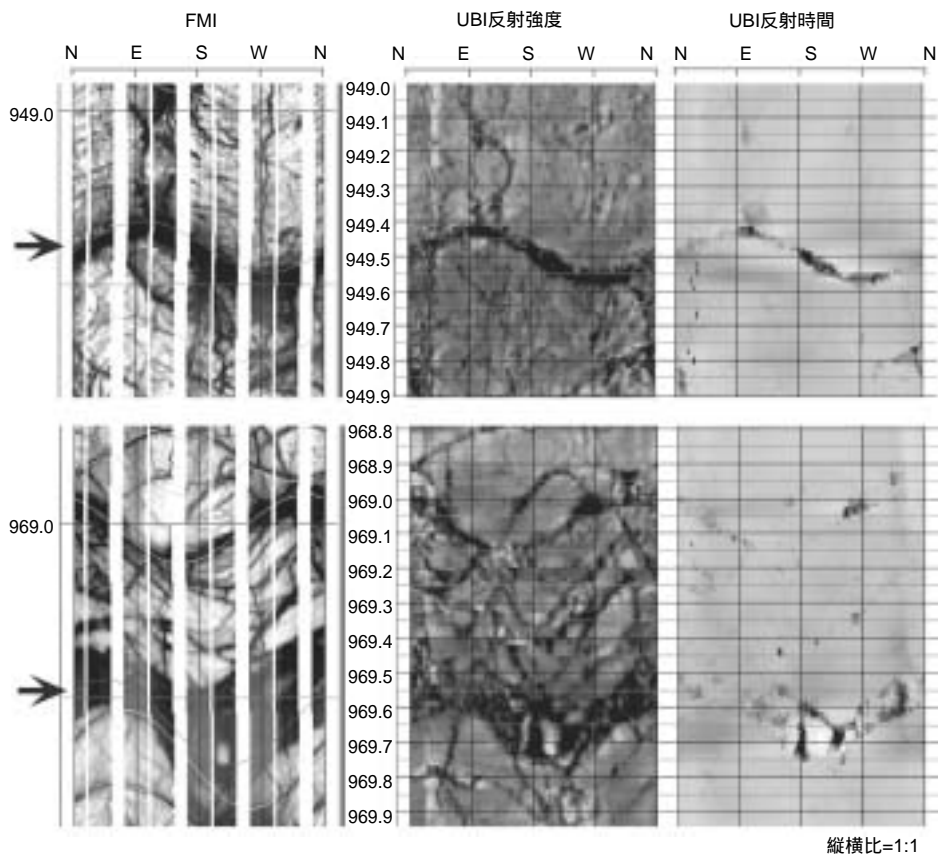


図7-2-1 水みち候補の割れ目 (上: 深度949m付近、下: 深度969m付近)

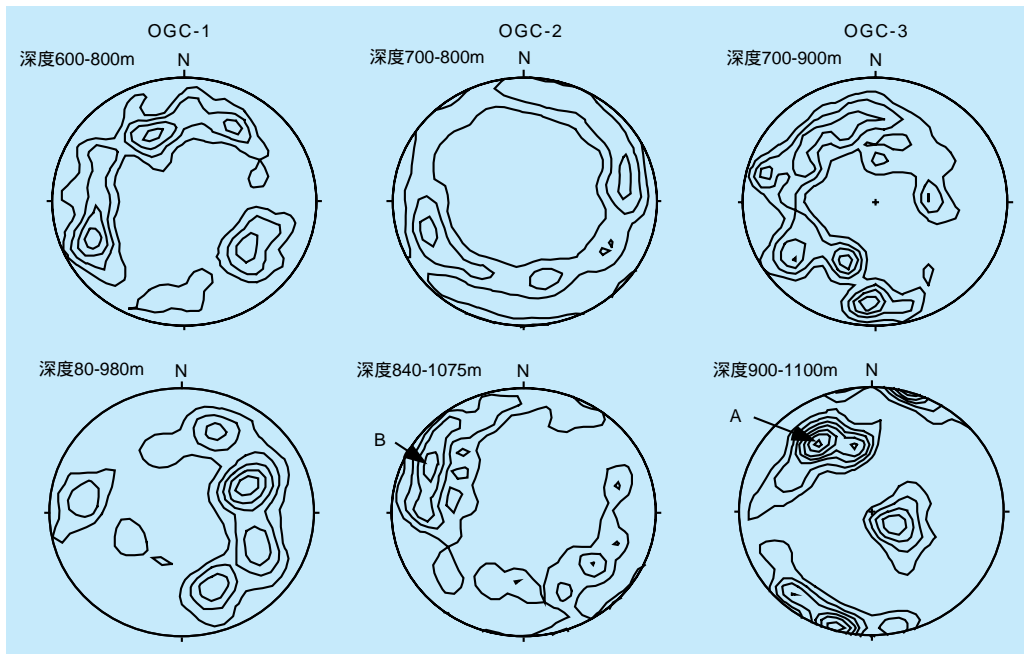


図7-2-2 坑壁画像化検層により抽出された割れ目の深度別方位分布