

## III-PS 3 超音波を用いた地下き裂確認法とその実施例

地熱技術開発(株) 兵藤 正美, 岡部 高志, 高杉 真司

## 1. 緒言

地熱開発や石油開発あるいは土木地質調査の坑井では、地層・岩盤評価のために各種物理検層が行われているが、地層・岩盤中の地下き裂(Fracture)の検出・評価が近年重要な課題となってきた。き裂の存在は、地下における流体の移動および岩盤の強度に強い影響を与えるため、流体移動の把握あるいは、地質構造の解明にき裂の確認が欠かすことのできないパラメータとなっている。本報では、地下き裂の検出・評価に有効な、超音波を用いた測定方法とその測定例および解析例を紹介する。

## 2. BHTV測定システム

## 2.1 測定原理

BHTV(Borehole Televiwer:ボアホールテレビュア)は、坑井の内壁を音波で走査することにより、坑井内のき裂を直接観察する検層装置である。同様の測定装置としては、テレビカメラを用いた光学的方法やパッドに付いた電極を坑壁に押しつけ、坑壁の比抵抗値の微小な変化からき裂等を推定するフォーメーションマイクロスキャナ(FMS)がある。光学的方法では泥水中での使用が不可能であり、また、FMSでは坑壁全体を走査することができない等の制限がある。

BHTV検層では、超音波(0.5~2.5MHz)を坑壁に発射し、坑壁からの反射波の強度と到達時間を計測する。圧電型トランスデューサを用いた超音波振動子は、トランスミッタ(発信)およびレシーバ(受信)の両方の働きをし、計測中は内蔵の同期モータにより回転している。このBHTV検層器を毎分1~2m程度で引き上げながら測定することにより、坑井内を超音波で3次的に走査することができる。超音波は坑壁の360°を走査するため、坑壁の全方位を描写することができる。また、内蔵されたフラックスゲートマグネットメータによって、一定の速度で回転しているトランスデューサがどの方向を向いているかを磁北パルスを基準にして知ることができる。BHTV検層においては、坑壁にき裂がある場合、反射波が弱くなり、記録上暗部となり、き裂と観測される。また、坑内が地下応力により楕円を示す場合は、反射時間の違いに

より楕円の形状を観測することができる。本装置は超音波を使用しているため、水、泥水、油等の流体で満たされた坑井内で測定することができる。

## 2.2 測定システム

本システムは、坑内検層器、検層用ケーブルおよびデータ取得装置(コンピュータ、ソフトウェア)より構成され、トランスデューサから発射された超音波の反射波の強度と反射時間を、データ取得装置がモニタしながらデジタル記録する。坑内検層器の仕様を第1表に示す。

## 3. 解析方法および解析例

取得したデータは、イメージング処理が可能なBHTVデータ解析ソフト(BHTVImage, Barton, C., 1989)を用いて解析する。本ソフトウェアは、①反射波の強度および反射時間の2次元表示、②坑井の任意の方向からの3次元表示、③坑井断面表示、④方位(X軸)に対する坑井半径(Y軸)表示、⑤反射時間のヒストグラム表示、⑥反射強度(X軸)に対する反射時間(Y軸)表示、⑦フラクチャの走向方位、傾斜および開口幅の算出、⑧水平応力方向を示すボアホールブレイクアウトの方位および幅の算出、⑨坑井断面積およびその累積値(坑内容量)の算出、⑩反射強度値および反射時間(キャリパー)の算出および、⑪解析結果の統計処理が可能である。

ある傾斜をもったフラクチャが坑井と交差した場合の坑井柱状モデルと、それに対応するBHTV記録は第1図に示すように、正弦波を示す。この波形より、フラクチャの走行、傾斜を求める。

第2図には、坑井を3次元表示し、き裂の開口幅を測定している例を示す。本解析では、コンピュータスクリーン上で坑井をき裂の傾斜方向に傾け、頭部と底部からき裂をのぞき込む形で表示し、開口幅、傾斜、方位を算出する。このようにして求められたき裂に関する情報は、以下の統計処理を行い評価する。

- ① 深度に対するき裂の密度分布
- ② 深度に対するき裂幅の分布
- ③ 深度に対するき裂の方位分布
- ④ 深度に対するき裂傾斜を方位でベクトル表示

- ⑤ き裂の方位・傾斜分布ポーラープロット
- ⑥ き裂の方位分布ローズダイアグラム
- ⑦ き裂全体の方位・傾斜ヒストグラム

これらを考察することにより、き裂の発達状況等を明らかにすることができる。第3図にポーラープロットとローズダイアグラムの例を示す。

4. 結 言

デジタルBHTV検層器およびデータ表示・処理

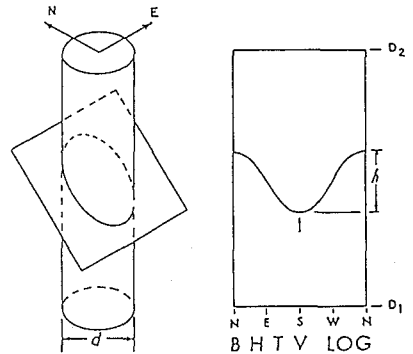
・解析を含むイメージングソフトの開発により、坑壁におけるき裂の走行、傾斜、開口幅等を精度良く計測できるようになった。また、地下き裂の挙動についてかなりの知見が得られるようになった。

参考文献

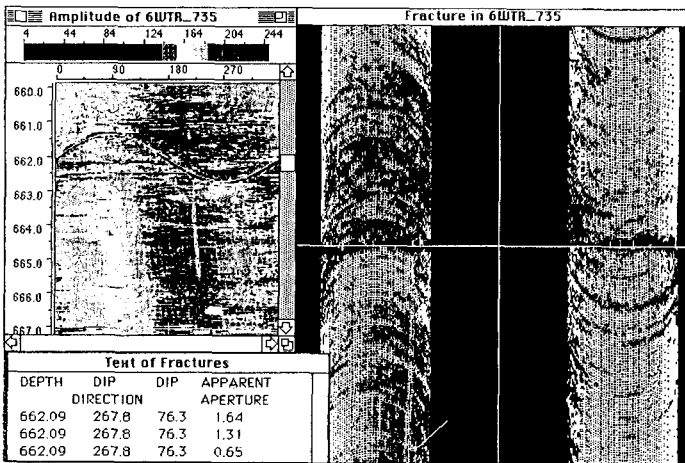
Barton, C., Interactive image analysis of borehole televiewer data, Geophysical press, 1989.

第1表 BHTV検層器の仕様

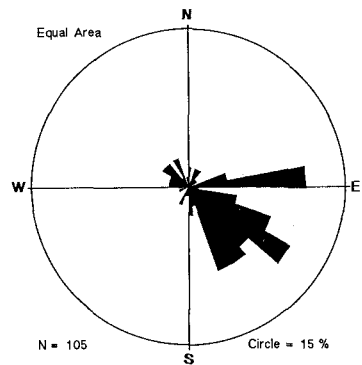
項 目	仕 様	
①測定項目	反射波の強度・到達時間、磁北外部温度、検層器内部温度	
②坑壁でのビーム幅(3°~14°坑)	4~6mm	
③発信パルスの周波数帯	0.5~2.5MHz	
④1秒あたりのトランスデューサ回転数	1.3, 6, 12 rps	
⑤回転あたりのサンプル数	1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512	
⑥プリアンプのゲイン設定	0~80dB in 3dB step	
⑦サンプルあたりの発信ビット数	40 bit	
⑧デジタルデータ伝送レート	5, 10, 20, 40, 80, 160 Kbit/S	
⑨ケーブルヘッドでの電力供給量	25~75 VDC	
⑩電力消費量	15 Watts	
⑪長さ	5.4 m	3.7 m
⑫外径	88mm(3.46")	60mm(2.36")
⑬重量	130Kg	45Kg
⑭耐圧	1,400Kg/cm <sup>2</sup>	700kg/cm <sup>2</sup>
⑮耐熱	300°C(5~8h)	120°C
⑯精度(分解能)	1/10mm(5mm)	1/10mm(5mm)



第1図 傾斜したフラクチャが坑井と交差した場合の柱状モデルとそれに対応するBHTV検層記録



第2図 検層記録(左図)とき裂開口幅解析用表示の例



第3図 き裂のローズダイアグラム