

き裂波インバージョンによる地下き裂内 チャンネルの形状推定

室蘭工業大学

助手 工学博士

永野 宏 治

1. 地下き裂計測

地下き裂は地下の岩盤内にある不連続面です。地下き裂が人類の役に立つ側面としては、現在の地熱エネルギー開発における蒸気や熱水の貯留層、次世代の地熱エネルギー開発における熱交換面としての働きがあります。一方、負の側面としては、地震や岩盤崩落の発生要因あるいは放射性核廃棄物の地下保管における漏洩経路等があります。そして、これらは、最近の地球環境・エネルギー問題や阪神大震災以降の都市防災問題でクローズアップされています。

地下き裂計測は、これまでも、地震や資源探

査、土木の分野で行われてきました。しかし、最近では地下き裂の位置や大きさだけでなく、地下き裂の微細な構造と地下き裂の進展速度等の性状を計測できる、より高度な計測技術が求められています。現在使われている音響技術に基づく地下き裂計測技術には、能動的な手法として、ソニックログ、ボアホールテレビユーア、ジオトモグラフィー等があり、受動的な手法として、AE/微小地震法があります。

従来の能動的な地下き裂の音響的計測法では、地下き裂での反射波や透過波を計測します。しかし、地下き裂の厚さは計測する波長に比べ非常に薄く、しかも、地下き裂での音響インピーダンスのコントラストが小さいため、反射波や透過波を計測する手法では地下き裂の構造を詳しく計測するには限界があります。

2. き裂波計測

筆者が研究する「き裂波計測」は、岩盤内に広がる地下き裂の微細な構造を直接計測できることを目標としています。この「き裂波」とは一種の弾性境界波です。き裂の評価を目的に計測・解析するため、き裂波と呼ばれています。き裂波は、き裂面にエネルギーが集中し、き裂面に沿って伝搬します。そして、き裂波の伝搬特性はき裂面の構造と弾性的特性に敏感に影響

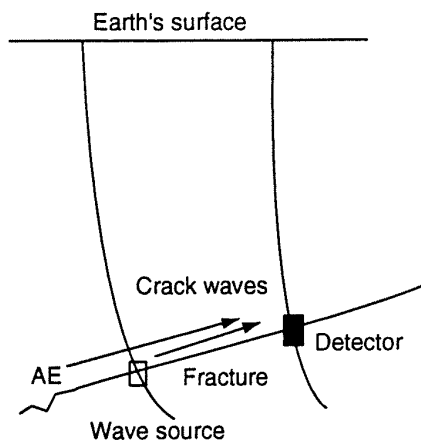


図1 き裂波を使った地下き裂計測

地下き裂に交差した2つの井戸を使って、地下き裂の特性を計測する。1つの井戸に設置した人工音源（エアガン等）で励振した弾性波は地下き裂面に捕捉され、き裂波としてき裂面を伝搬する。そして、別の井戸に設置したセンサ（ハイドロフォンや3成分弾性波検出器）でき裂波を計測する。地下き裂が進展した時に発生するアコースティック・エミッション（AE）も地下き裂面に捕捉されき裂波として伝搬するので、地下き裂計測に利用できる。

されます。つまり、き裂波計測は、地下き裂における反射波や透過波を計測する従来の地下き裂計測法とは原理的に異なる地下き裂計測法です。したがって、き裂波計測法により地下き裂面に関する新しい情報を直接計測できる可能性があります。

筆者はき裂波計測の研究を、フィールドにおける計測とその解析、および伝搬特性の理論解析について並行に進めています。

フィールド計測は、東北大学大学院地球工学

専攻 新妻弘明教授との共同研究として、岩手県東八幡平 Hot Dry Rock モデルフィールドの地下約370mにある人工地下き裂を使って行ってきました。この人工地下き裂には、2本の井戸が交差していて、地上からの水の圧入により地下き裂の開口状態を変化させることができます。このように開口状態を人間が操作できる人工地下き裂は世界唯一と言えます。筆者は、この地下き裂を伝搬するき裂波を計測し、地下き裂の接触剛性や傾き、厚さ等を推定する情報処理法

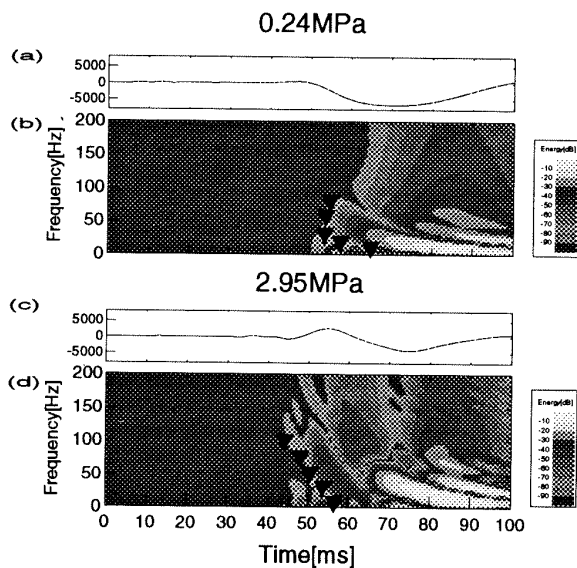


図2 人工地下き裂で計測したき裂波とその時間一周波数表現

深さ約370mにある人工地下き裂で測定したき裂波。(a、b)は地下き裂に水を圧入する前のき裂波、(c、d)は水を圧入したため地下き裂が開いた時のき裂波。▼がき裂波の各周波数成分の入力時刻を示す。(b)と(d)を比較すると、地下き裂が開いて接触状態が変化したため、き裂波の分散特性が変化していることがわかる。

を研究してきました。

東八幡平 Hot Dry Rock モデルフィールドは、最近道路が舗装されましたが、人里離れていて、春は5月末まで雪に覆われ、10月始めには雪がふります。したがって、計測実験ができる期間が極めて限られています。また、フィールド計測実験は多くの準備が必要です。そのため、

実験が失敗したから、すぐにもう一度やり直しということができません。筆者がき裂波の計測を始めた頃は、地下き裂を伝搬するき裂波の存在すら疑問視されていましたから、測定した信号がき裂波であることを立証するために長い期間様々な方法を検討しました。したがって、フィールドの地下き裂でき裂波が計測できた時の

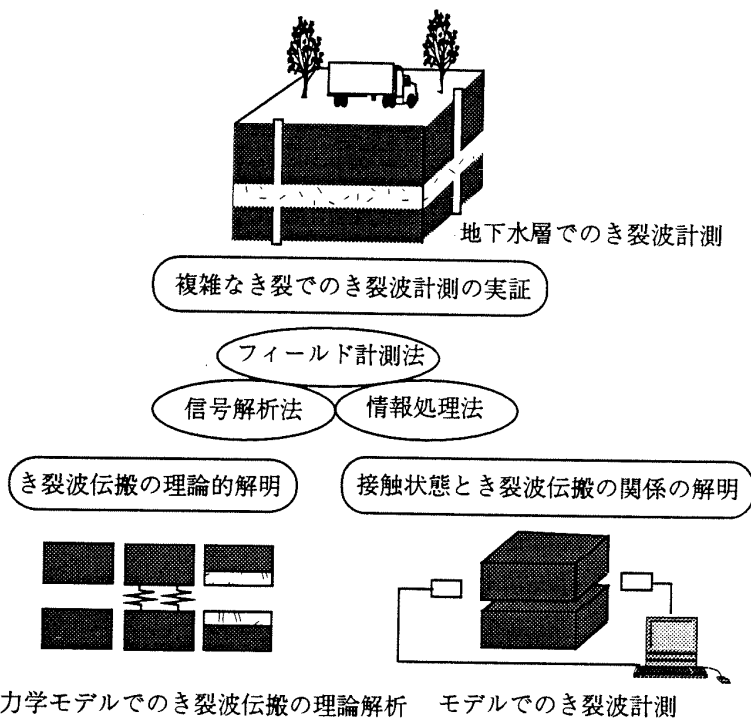
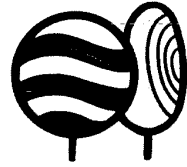


図3 き裂波計測の研究

き裂波を使った地下き裂計測法を実現するために、き裂波伝搬の理論解析、実験室でのモデル計測、フィールド計測を並行して進めている。



喜びはひとしおでした。

き裂波の解析では、まず地下き裂の力学モデルを作り、その力学モデルにおけるき裂波の伝搬特性を理論解析します。一方、フィールド計測から得たき裂波のデータを信号処理し、理論解析の結果に対応する情報を検出します。き裂波は、分散性をもつ弾性波であり、また、固体中も伝搬するため3次元粒子運動としても計測されます。そこで、き裂波の信号処理では、時間一周波数表現や多次元信号処理などのデジタル信号処理技術を駆使することになります。生のデータでは見えない情報を、デジタル信号処理技術を使って見えるようにすることが、き裂波解析と信号処理の醍醐味の1つです。

3. テーマの展望

筆者は、これまでき裂波を使った地下き裂計測の研究を、水で満たされた単一地下き裂について進めてきました。しかし、実際の多くの地下き裂は分岐した複雑な構造をしています。このような複雑な地下き裂を定量的に評価できることがき裂波計測の現在の目的です。これを実現するには、これまでのようにフィールド実験と理論解析、そして、実験室でのき裂波の伝搬特性と接触状態の関係の定量的解明が、3つうまく連動して進めることが必要です。

地下き裂については地震や岩盤崩落等の負の働きに目が奪われがちになります。しかし、クリーンなエネルギー源である地熱エネルギーの開発では、地下き裂が極めて重要な要素です。地球温暖化に象徴される地球環境問題や原子力

開発の将来に対する不透明さを考えると、今、我々の世代がこの膨大なエネルギーの利用技術を蓄積することが大切と考えています。そのために、き裂波計測の研究が小さくても役にたてればと思っています。

参考文献

- (1) 新妻弘明 他 特集21世紀のクリーンエネルギー―“地熱” 電気学会誌 117 751-771 (1997)。
- (2) 日本機械学会 編 岩石破壊力学とその応用 コロナ社 (1989)。
- (3) 新妻弘明 AE・微小地震解析による地熱貯留層キャラクターゼーション 資源と素材 113 301-307 (1997)。
- (4) Ferrazzini, V. and K. Aki Slow waves trapped in a fluid-filled infinite crack: implication for volcanic tremor Journal of Geophysical Research 92 9215-9223 (1987)。
- (5) Nagano, K. and H. Niitsuma Crack stiffness from crack wave velocities Geophysical Research Letters 23 689-692 (1996)。
- (6) 永野宏治、新妻弘明 境界波のコヒーレンス行列解析による固体内不連続面の方向推定 日本音響学会誌 52 420-428 (1996)。
- (7) Parra, J.O. et al. Guided seismic waves for reservoir characterization Gas TIPS 3 11-18 (1997)。