

微小地震に基づく流体移動の評価法と地熱開発への応用

Microseismic-based detection of fluid flow in deep seated rock and its application to geothermal development

伊藤 高敏^{1*}

ITO, Takatoshi^{1*}

¹ 東北大学流体科学研究所

¹Institute of Fluid Science, Tohoku Univ.

深部にある地下岩体中の流体は、既存のき裂を主な流路として移動していると考えられている。したがって、流体移動を把握する一つの方法は、既存き裂の構造と連結性を把握することである。しかしながら、問題のき裂は、大きさも方向も一様ではなく複雑に分布しており、かつ、面としての広がりこそ数十から数百メートルという比較的大きな規模であるとしても、その厚みは高々数ミリメートルに過ぎない極めて薄い構造体である。そのように特異な構造のき裂とその内部の流れを、可視光はむろんのこと電波も通さない、数千メートル厚の岩体を隔てた地表から直接的に評価できる方法はない。

一方、既存のき裂内部の流動抵抗を減少させる、あるいは流路を人工的に作成する技術として水圧破砕法があり、石油開発のみならず、地熱開発の分野でも広く用いられている。また、水圧破砕を実施すると、それに伴って多くの微小地震の発生することが知られており、それらは注水によってき裂内の間隙水圧が上昇し、き裂面の間の摩擦力が低下してき裂の面同士がすべることによって起こると考えられている。このことは、微小地震の震源には滑りを起こしたき裂があり、さらに、その位置まで注水井の圧力が何らかの経路をたどって伝播したことを意味している。したがって、微小地震の震源位置として、注水井から圧力の伝播した位置がわかることになる。この原理によってき裂構造を評価するのが、従来型のいわゆる AE 法であり、現状では坑井から離れた位置のき裂情報を取得できる最も優れた方法である。しかしながら、原因はともかくとして微小地震は通常、時間的にも空間的にも不規則に分散して発生するため、その発生時刻と震源位置の情報だけからでは、どの震源位置を経由して流体が移動したのかを追跡することは難しく、仮に震源の並びからき裂面を推定できたにせよ、その内部の流れに関する情報を得ることは不可能である。この課題を解決すべく、我々は貯留層内の流れの情報を得るための微小地震の解析方法を提案した(長田ら, 2005, 伊藤ら, 2008)。この方法では、まず微小地震はクーロンの破壊基準に従ってき裂がすべることによって発生するという仮定により、観測された全ての微小地震に対して、その震源位置と微小地震発生時刻の間隙水圧を評価する。ただし、そのようにして得られた水圧の分布は、時間的にも空間的にも分散したものとなるため、そのままでは流れを評価できる情報にはならない。そこで、評価対象領域を適当な大きさの検査領域(ブロック)に分割し、ある時刻 t までにブロック内で起きた微小地震から求められる間隙水圧を比較し、その中で過去最大の値を同ブロックの位置と同時刻における水圧を表す代表値として抽出する。この規則を全てのブロックに適用した結果を、き裂ネットワークに沿う流体移動によって生じた、時刻 t の水圧分布とする。同様な手順によって水圧分布の時間変化を求めることができる。次に、貯留層内の流路構造を表す適当なモデルを基に水圧分布を求め、これが微小地震から求めた水圧分布とその時間変化と整合するようにモデルを最適化する。そして、その最適化されたモデルとして、貯留層内の流路構造を評価する。この方法を、次世代型地熱発電システムの構築を目指して開発が進められているオーストラリアのクーパー・ベイズン地区において 2003 年に実施された水圧破砕時の微小地震に適用した。これにより、水圧破砕井の西側に NNW-SSE に伸びる低浸透性領域があること、また、対する東側には高浸透性の領域が広がっていることがわかった。さらに、水圧破砕時における貯留層内の流体移動を評価したところ、水圧破砕井から NE 方向に卓越した流れが生じていることがわかり、このことは、その後実施された水圧破砕によって起きた微小地震の広がり調和的であった。

参考文献

1. 長田和義, 伊藤高敏, 林 一夫, Roy Baria, 微小地震情報に基づく水圧破砕時の貯留層における圧力伝播挙動の解析, 日本地熱学会誌 (2005), 27 (3), 211-222.

2. 伊藤高敏, 長田和義, 林 一夫, Roy Baria, 微小地震情報から求めた間隙水圧分布に基づく貯留層内の流路構造評価, 日本地熱学会誌 (2008), 30 (1), 49-61.

キーワード: 流体移動, 微小地震, クーロン則, 逆問題, 水圧破砕, 地熱開発

Keywords: Fluid flow, Microseismicity, Coulomb criteria, Inverse problem, Hydraulic fracturing, Geothermal development