

地球環境適合型地熱／地中熱利用のための地下情報の高度計測

東北大学・大学院環境科学研究科

助教授 浅沼 宏

TEL&FAX: 795-73991, Email: asanuma@ni2.kankyo.tohoku.ac.jp

1. 研究の背景と目的

地熱（温度 100℃以上の熱水資源）および地中熱（地表付近の低温の熱エネルギーを指す）は広範囲に分布し、全体でのエネルギー量が大きいことに加え、季節的・時間的変動が小さく、さらに様々な規模・形態で利用可能である等、他の再生エネルギーにはない特長を有する。このため、再生可能エネルギーを複合利用し、既存のエネルギーシステムと代替させることを考えた場合、地熱／地中熱はベースエネルギー源として重要な役割を担う。

地熱／地中熱を工学的に開発・利用する場合、熱水を貯留するき裂システムの位置、分布、透水性に加え、掘削や水圧破碎などの開発行為に対する応答等を計測することが重要である。地下を伝搬する弾性波は減衰・周波数帯域の面で優れており、地下計測の最も主要な手段として用いられてきたが、既存の手法は、地熱／地中熱開発において工学的に必要とされる分解能、信頼性が充分でなく、また、計測上の制約が加えられることが一般的である。このため、開発時に、き裂システムの位置、分布、挙動等に関する情報を高精度に提供できる弾性波計測法の開発が望まれており、本研究はこのような弾性波計測・情報処理技術を実用化することを目的として実施している。

2. これまでの主な成果

【ボーリング音を利用した反射法計測】「3軸ドリルビットVSP法」と呼ばれる、ボーリング音中の反射音の遅延と波数ベクトルの方向検出法、さらに地下構造逆解析法を導出した(図1)。これにより掘削井とは独立な1点の観測点により反射イメージの取得が可能になった。本手法はフランス、ソルツ高温岩体フィールド、電力中央研究所雄勝フィールド等へ適用され、人工貯留層の下限およびさらに大深度の反射イメージングに成功した(図2)。また、産業技術総合研究所との共同研究により、核廃棄物保管のためのボーリング時においてビット以深の地下構造を検知することに成功した。

【多成分弾性波信号の時間一周波数解析】弾性波の3次元粒子運動に対し、ウェーブレット変換や多成分コヒーレンス解析などの信号処理を行うことにより、連続的にセンサへ到来する弾性波の到達時刻の高精度検出やモードを同定する手法を検討してきた。これにより、以下のような成果を得た。(a)多成分弾性波信号のウェーブレット変換により、複屈折を起こした横波弾性波の遅延時間と偏波方向を検出可能にした。(b)優決定なセンサ配置で記録した多成分信号のコヒーレンス解析とウェーブレット変換を組み合わせ、弾性波の到達時刻の高分解能検出手法を開発した(「4成分コヒーレンス解析」)。(c)近接した2組の多成分センサと時間一周波数コヒーレンス解析を組み合わせ「3次元TFC法」を導出した(図3)。本手法をフィールドで記録した実データへ適用し、(i)3次元TFC法の原理に基づく反射イメージング法により、運転中の地熱発電所の貯留層の深部構造を明らかにした。また、人工き裂の開口にともなう透過弾性波の速度、モードの変化を検出した(図4)。さらに、3次元TFC法の原理に基づくトンネル切端前方探知技術を開発した。

【超解像マッピング技術の開発】「コヒーレンスコラプシング法」と呼ばれる微小地震の震源再決定法を開発した。これにより震源クラウド全体の不確定性を低減し、震源位置が成すクラウド状の構造をより明確にするとともに、その中で熱水の流路と密接に関係していると考えられている相似微小地震（マルチプレット）の位置を高精度に決定可能にした。この技術により、(a) フランス、ソルツおよびオーストラリア、クーパー盆地フィールドにおいて水圧破碎時の微小地震計測、リアルタイム解析を実施し、コヒーレンスコラプシング法およびその他の超解像マッピング技術により、両フィールドの高温岩体貯留層の進展挙動をモニタリングした(図4)。(b) コヒーレンスコラプシング法を兵庫南部地震や岩手山火山性地震へ適用し、より明確な震源クラウドを得るとともに相似地震群の時空間分布を明らかにした。(c) 北海道の天然ガス田における水圧刺激時に発生した微小地震の超解像マッピングを実現し、ガス貯留層内のき裂システム的位置、構造を明らかにした。

3. 本技術の多分野への応用

これらの研究成果は、その基礎を音響信号処理技術、情報処理技術に有しており、それを不均質固体中の非定常弾性波へ適用可能にしたものであり、今後、画像情報の復元や低SN環境下での音響信号伝送等、情報通信分野一般への適用も期待でき、そのための研究も開始しつつある。

4. 参考文献

- H. Asanuma, Y. Kumano, I. Izumi, N. Soma, H. Niitsuma, and R. Baria, Monitoring of Reservoir Behavior at Soultz HDR Field by Super-Resolution Microseismic Mapping, Proc. Proc World Geothermal Congress 2005 (2005) (CDROM)
- H. Asanuma, T. Izumi, H. Niitsuma, R. Jones, and R. Baria, Delineation of Reservoir Structure by the Coherence Collapsing Relocation Technique of Microseismicity, Proc World Geothermal Congress 2005 (2005) (CDROM)
- N. Soma, T. Takehara, H. Asanuma, H. Niitsuma, R. Baria, S. Michelet, and D. Wyborn, Automatic wave picking technique for multi-component microseismicity and its practical application to onsite analysis in HDR development, Proc. World Geothermal Congress 2005 (2005) (CDROM)
- H. Asanuma, Y. Ogasawara, N. Soma, H. Niitsuma, and R. Baria, Reflection imaging of deep HDR reservoir at Soultz by the traixial drill-bit VSP, Trans. Geothermal Resources Council, 28, 197-200, (2004)
- R. Jones and H. Asanuma, The tetrahedral geophone configuration: geometry and properties, Society of Exploration Geophysicists 2004 Expanded Abstracts, 9-12, (2004)
- H. Asanuma, I. Kizaki and H. Niitsuma, Analysis of seismic waves propagated through a pressurized fracture by the 3D-IFC method, Society of Exploration Geophysicists Expanded Abstracts 2385-2388, (2002)
- H. Asanuma, J. Takayama and H. Niitsuma, "Discrimination of coherent waves by a time-frequency representation of 3D hodogram and application to microseismic reflection method," Society of Exploration Geophysicists Expanded Abstracts 424-427 (2001)

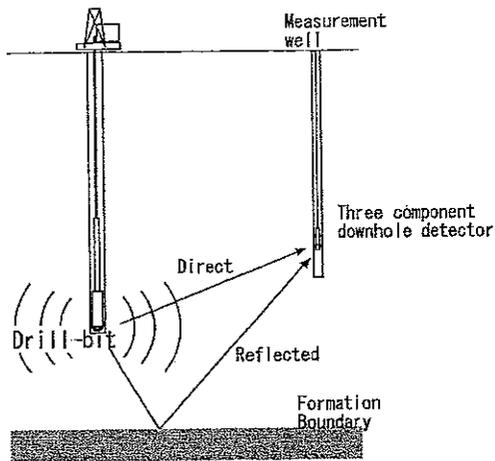


図1：ボーリング音を使用した反射法計測の概念

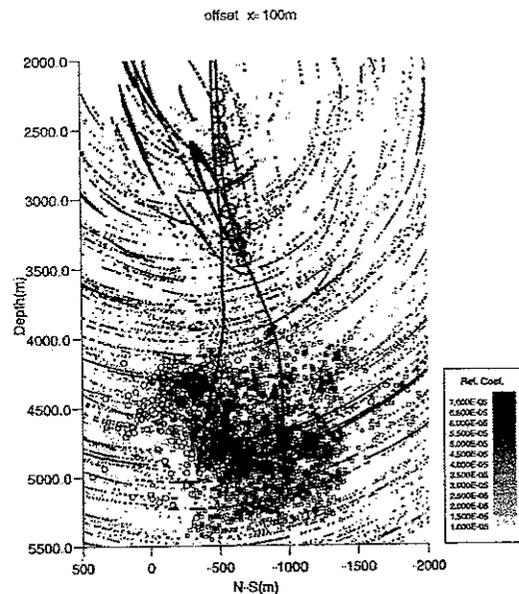


図2：ボーリング音を使用した地下の反射イメージ

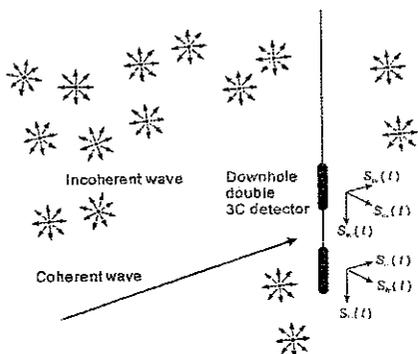


図3：弾性波の時間周波数コヒーレンス計測の概念図

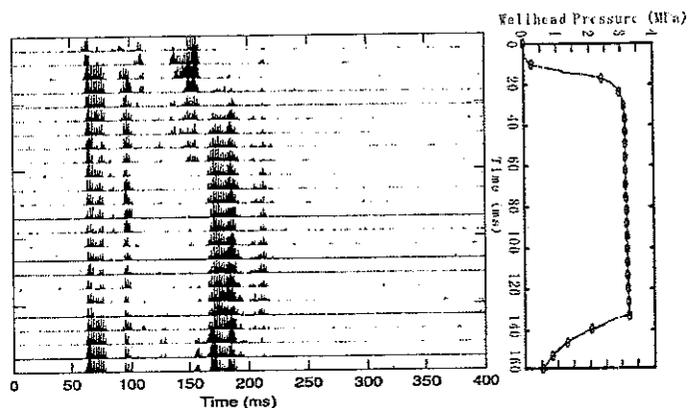


図4：地下弾性波の時間周波数コヒーレンス解析により明らかになった、地下き裂の弾性波への応答の変化

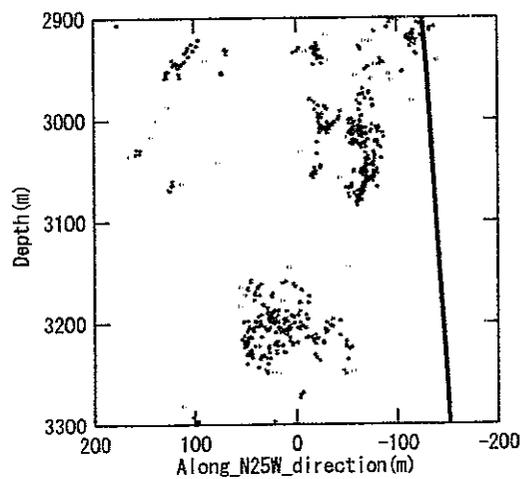
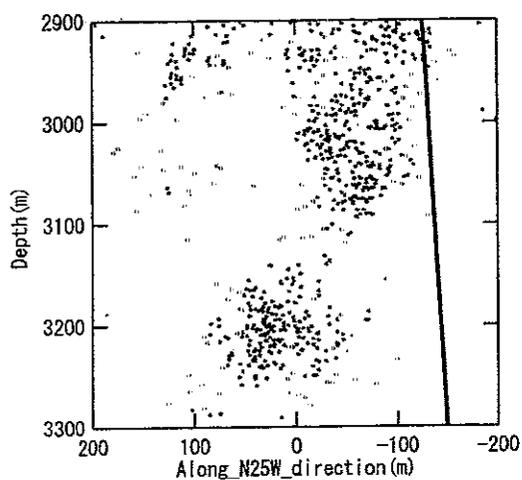


図5：筆者らが開発した「コヒーレンスコラッピング法」による微小地震の発生位置推定結果（左：従来法，右：筆者らの手法）