

機関番号：11301  
 研究種目：基盤研究 (B)  
 研究期間：2008 ～ 2010  
 課題番号：20360402  
 研究課題名 (和文) マルチプレット・クラスタリング解析に基づく高透水性き裂群・  
 分布領域標定法の開発  
 研究課題名 (英文) Development of method for estimation of high permeable fractures  
 and their distribution by using the multiplet-clustering analysis  
 研究代表者  
 森谷 祐一 (MORIYA HIROKAZU)  
 東北大学・大学院工学研究科・講師  
 研究者番号：60261591

研究成果の概要 (和文)：貯留層内高透水性き裂群分布領域の標定技術開発を目的として実フィールドデータの解析，AE 解析結果ならびに坑井検層データの精査と比較，高透水性き裂群同定のためのパラメータの開発を行った．本研究では，ワイブル分布を用いた解析により，AE マルチプレットは，注水による貯留層刺激に応じて繰り返し発生し，周期性を有することを明らかにした．本結果を受けて，イベントエネルギー，注水量，イベント発生間隔を用いた高透水性き裂群を同定のためのパラメータを提案し，ソルツフィールドの地熱貯留層の水圧刺激時に計測した AE を用いてその有効性を検討した．

研究成果の概要 (英文)： I have carried out the development of the method for estimation of high permeable fracture and their distribution in geothermal reservoir based on the multiplet-clustering analysis, where the analysis of induced AE data, comparison of results of AE data analysis and logging data analysis, and development of a parameter to identify high permeable fractures in reservoir were performed. In this study, I first have analyzed the induced microseismic AE multiplet by using the Weibull distribution to clarify the stochastic property of event occurrence, and shown that the occurrence of similar microseismic events (AE multiplet events) is quasi-periodic rather than random, and I inferred it to be related to the fluid flow rate in fractures. I have also suggested a parameter using event energy, injected fluid volume and time interval of event occurrence, and examined the feasibility of parameter using the induced microseismic events during a hydraulic stimulation at Soult field, France.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2009 年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2010 年度	1,700,000	510,000	2,210,000
総計	7,500,000	2,250,000	9,750,000

研究分野： 地下情報計測工学

科研費の分科・細目：総合工学・地球・資源システム工学

キーワード：地球計測，地熱，AE，マルチプレット

#### 1. 研究開始当初の背景

透水性地下き裂の位置分布および透水度を計測することは，持続可能エネルギーの一つである地熱エネルギーを抽出する上で極めて重要である．地下き裂は，流体移動や間

隙水圧上昇によってせん断滑りを起こし，弾性波である AE(Acoustic Emission)を誘発することがある．この中には，波形が相互に類似した AE・微小地震群 (AE マルチプレット) がよく観測される．AE マルチプレットは，

同一き裂面上から放射される AE 群である。申請者らは、AE マルチプレットに着目して地熱貯留層計測の技術開発を行ってきた。その一つとして申請者らは、マルチプレット・クラスタリング解析法 (MCA: Multiplet-Clustering Analysis)を開発している。本方法は、多成分信号処理により AE マルチプレット震源の相対位置関係を高精度に標定する方法で、それまで困難であった個々のき裂間の幾何学的位置関係を高い精度で推定可能な解析法である。申請者らは、MCA による AE 源高精度標定により地下き裂の走向傾斜推定が可能であることを実フィールドデータの解析を通じて実証し、さらに、AE マルチプレットは高透水性き裂が存在すると推定される領域で多く発生し、かつ、せん断滑りを起こしやすい初期応力状態にあるき裂面から発生する傾向があるという観測事実を明らかにしている。また、き裂の臨界間隙水圧推定法を提案し、地熱貯留層内の大局的な流体流動方向の推定が可能であることを示している。一方、AE の発生は、地下き裂のせん断すべり発生を表しているものの、AE を発生したき裂が高透水性を有するか否かまでは示していない。このことは例えば、水圧破碎による人工貯留層造成後に、誘発 AE の震源が密集する領域に向けて抽熱用坑井を掘削した際、坑井はき裂群に到達してはいるものの流体流動が殆ど無く、予測量の熱流体を抽出できないという事態が生起し得ることを示しており、開発上重大なリスクといえる。地下き裂を介して抽熱する場合、熱交換面となる透水性き裂面の総面積、き裂群分布領域等が抽熱能力を左右する。従って、貯留層内の高透水性き裂群位置やき裂群分布領域 (AE 源空白領域が高透水領域として標定される可能性も有)、さらにはき裂密度等を明らかにできる計測技術の開発が強く望まれている。

## 2. 研究の目的

本研究は、マルチプレット・クラスタリング解析による地下き裂構造計測法を基礎にした、地熱貯留層内高透水性き裂群ならびにき裂群分布領域標定技術の開発を目的とする。誘発 AE を利用した地下構造計測は、地熱開発や石油・ガス田開発を目的として行われており、この中でマルチプレットに着目した研究では、注水により造成した人工地下き裂の位置や分布の計測、断層の位置や構造の推定、地殻内速度構造推定等に関するものが行われている。一方、マルチプレットに着目した地下き裂の透水性き裂評価に関する学術研究は、国内外を問わずこれまで例がなく、本研究は、地下情報計測分野における先導的な研究であるといえる。また、本研究の特色は、AE・微小地震マルチプレットに着目していることである。すなわち、本研究は、申請

者らの開発した AE マルチプレット・クラスタリング解析法をシーズとして、AE から貯留層内高透水性き裂群と分布領域の標定を行うおとするもので、独創性を有し、かつ、技術的ニーズに対応した研究課題であるといえる。また本研究は、実フィールドの水圧破碎で誘発される AE データや種々の計測データ (坑井内計測、ボーリングコア調査等) をベースに行うことから、実フィールドスケールでの諸現象の解明、新たな事実の発見が可能な実証的な研究であるという特徴も有している。本研究の成果は、地熱利用などの工学分野のみならず、防災に関連して近年議論されている活断層内間隙水と地震発生の原因との関係解明など、将来重要となる研究分野への波及効果も大きいと考えられる。

## 3. 研究の方法

フィールドデータに基づく貯留層内流体流動評価をベースに、(1)AE による貯留層内高透水性き裂群およびき裂群分布領域標定法の開発 (解析アルゴリズムの具体化) を行い、さらに、(2)フィールドデータの解析を通じて本研究で提案する計測法の有効性を明らかにした。具体的には、以下の様に 3 年計画で実施した。

(1) 国内外の実フィールドデータの解析を行った。ここでは、

- ① ソルツフィールド (フランス) で実施された水圧破碎時に取得した AE データより、類似波形群 (マルチプレット: 図 1) を抽出し、クロススペクトル解析の適用と、類似波形群の震源相対位置を決定、マルチプレット・クラスタリング解析法の適用と、個々のき裂群の相対位置関係の標定を行った。さらに、個々のき裂構造面の走向傾斜推定と貯留層の幾何学的構造の推定した。
- ② AE 源の時空間分布の解析を行い、AE 源分布領域拡大プロセスの精査と、AE 源時空間分布から見た貯留層形成プロセスと流体流動の評価を行った。
- ③ 坑井内計測データの検討を行った。ここでは、坑井内流量 (Q)、注水圧力 (P)、P-Q 曲線、坑壁電気伝導度分布 (FMI)、地圧、温度・圧力・検層データによるき裂分布、透水性、流動インピーダンス等の精査を行い、坑井内計測データから見た貯留層内透水性き裂領域拡大、貯留層形成プロセス、坑井内計測データから見た貯留層内流体流動 (方向、流量) の評価を行った。

(2) AE と坑井計測データの双方から見た貯留層内の高透水性き裂群分布領域と流体流動の評価を行った。ここでは、AE と坑井計測データの双方を比較して、貯留層内透水性き裂領域拡大、貯留層形成プロセスならびに流体流動挙動 (流動方向や流量) を総合的

に評価をし、AE 源分布と透水領域との関係評価を検討した。

(3) 坑井内計測データより推定された貯留層内流体流動挙動と AE 解析結果との対比による高透水性領域を特徴付ける AE 波形パラメータの抽出と検討を行った。ここでは、サイスミックモーメントの解放率、AE 源面積拡大率、AE 源移動速度との関係を検討した。

(4) 抽出したパラメータを包括した高透水性地下き裂群・領域標定のためのアルゴリズムを検討した。

(5) 考案した解析法をソルツ地熱フィールドの AE データに適用し、性能評価ならびに問題点のフィードバックを行った。

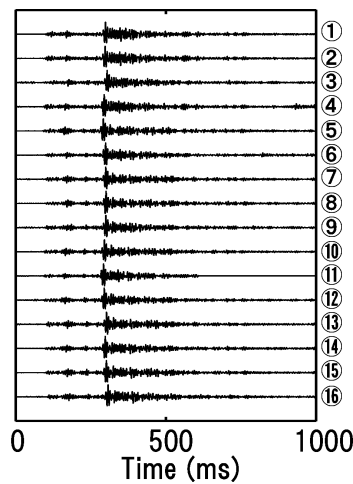


図 1: AE マルチプレット波形例。16 個の類似波形で構成されている。

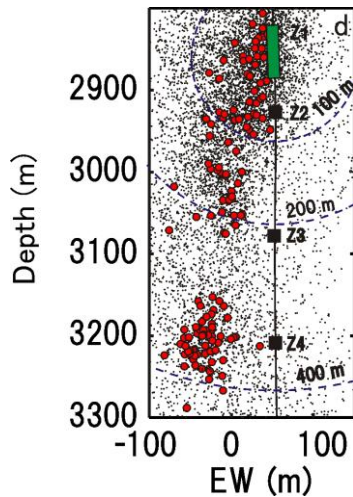


図 2: ソルツフィールドの坑井近傍における AE 源分布とマルチプレット発生位置 (赤丸)。

#### 4. 研究成果

(1) AE マルチプレットは、水圧刺激により既存き裂群の透水性が改善した領域で多数発生することを、ソルツフィールドデータを解析することにより示した。

(2) AE の発生時間間隔を検討した結果、

誘発される AE の発生時間間隔は、ほぼランダムであるが、AE マルチプレットに着目するとその発生時間間隔は、周期性を有していることを明らかにした (図 3, 4)。

(3) AE マルチプレットの発生時間間隔、貯留層への注水流量、AE のイベントエネルギーを用いた高透水性き裂同定のためのパラメータを提案した。

(4) (3) で提案したパラメータをソルツフィールドの誘発 AE データに適用して検討した結果、坑井内から地層への流体流出箇所近く、き裂内流体流量が大きいと推定される箇所ではその値が大きくなることがわかった (図 5)。

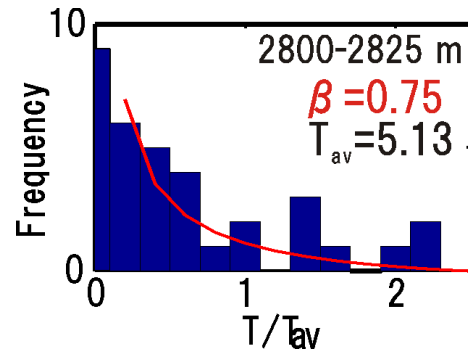


図 3: AE 発生時間間隔分布とワイブル分布近似曲線例。  $\beta=0.75$  であり、発生過程はランダムに近い。

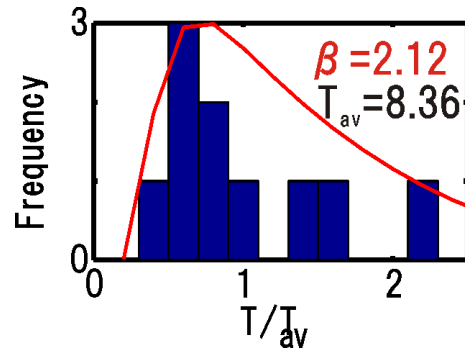


図 4: あるマルチプレットの AE 発生時間間隔分布とワイブル分布近似曲線例。  $\beta=2.12$  であり、発生過程はランダムではなく、むしろ周期性を有している。

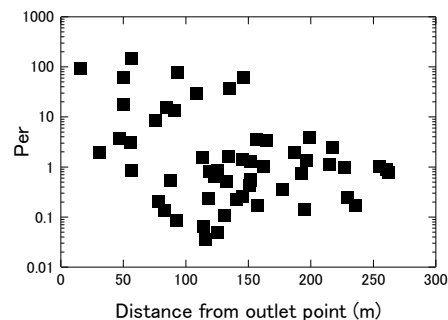


図 5: 高透水性き裂同定のためのパラメータと流体流出箇所からの距離。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 12 件)

1. H. Moriya, Phase-only correlation of time-varying spectral representations of microseismic data for identification of similar seismic events. [Geophysics, 査読有, 76(6), (2011), WC35-WC51]
2. H. Moriya, Identification and classification of similar seismic events by using phase-only correlation technique. [Proc. 10th SEGJ International Symposium, 査読有 10, (2011), 133-136]
3. H. Asanuma, Y. Kumano, H. Moriya, H. Niitsuma, M. Haring, Interpretation of reservoir creation process by super-resolution mapping of microseismic multiplets collected at Basel, Switzerland. [Proc. World Geothermal Congress 2010, 査読有 CD-ROM, (2010)]
4. H. Moriya, H. Niitsuma and R. Baria, INDUCED MICROSEISMIC MULTIPLET AS AN INDICATION OF FLUID FLOW IN GEOTHERMAL RESERVOIR. [Proc. Renewable Energy 2010, 査読有, CD-ROM, (2010)]
5. H. Moriya, H. Niitsuma, and R. Baria, Evaluation of fluid flow in enhanced geothermal reservoirs based on induced microseismic multiplets. [Trans. Geothermal Resources Council, 査読有, 34, (2010), 407-412]
6. H. Moriya, Imaging of deep structure using reflection waves detected by spectral matrix analysis and confidence levels. [Progress in Acoustic Emission XIV, 査読無, 15, (2010), 289-294]
7. H. Moriya, K. Asamori, I. Kitamura, H. Hotta, H. Ohara and T. Niizato, Estimation of crustal structure in Horonobe area Hokkaido, Japan, using multiplet-clustering analysis. [Journal of Acoustic Emission, 査読有, 28, (2010), 1-10]
8. H. Moriya, Spectral matrix analysis for detection of polarized wave arrivals and its

application to seismic reflection studies using local earthquake data. [Earth, Planets and Space, 査読有, 61, (2009), 1287-1295]

9. H. Moriya, Spectral matrix analysis method for the detection of wave arrivals using confidence levels and its application to seismic reflection imaging. [Proc. 9th Society of Exploration Geophysicist of Japan International Symposium, 査読有, (2009), CD-ROM]
10. H. Moriya, Precise arrival-time detection of polarized seismic waves using the spectral matrix. [Geophysical Prospecting, 査読有, 56, (2008), 1-10]
11. H. Moriya, K. Asamori, I. Kitamura, H. Hotta, H. Ohara and T. Niizato, Estimation of crustal structure in Horonobe area, Hokkaido, Japan, by using Multiplet-clustering analysis. [Progress in Acoustic Emission XIV, 査読無, 2008, 415-422]
12. H. Asanuma, Y. Kumano, H. Moriya, H. Niitsuma, U. Schanz, M. Haring, Identification of microseismic multiplets in the frequency domain and interpretation of reservoir structure at Basel, Switzerland. [SEG Expanded Abstracts, 査読有, (2008), 1451-1455]

[学会発表] (計 1 件)

1. H. Moriya, Spectral Matrix Analysis Method for the Detection of Polarized Wave Arrivals Using Confidence Levels. [Eos Trans. AGU, 87, Fall Meet. Suppl., Abst, (2008), S12B-01] 米国地球物理学会, 2008年12月15日, サンフランシスコ (招待講演)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森谷 祐一 (MORIYA HIROKAZU)  
東北大学・大学院工学研究科・講師  
研究者番号 : 60261591