

(76) 岩石のAEカイザー効果とAE震源分布との関係

資源環境技術総合研究所 正会員 ○瀬戸政宏

歌川 学

勝山邦久

The Relation Between the Kaiser Effect of the Rock and AE Hypocenters' Distribution

Masahiro SETO, National Institute for Resources and Environment

Manabu UTAGAWA, National Institute for Resources and Environment

Kunihisa KATSUYAMA, National Institute for Resources and Environment

Abstract

This paper shows the relation between the Kaiser effect of AE in rock and the change of AE hypocenters' distribution. AE occurred in rock sample (sandstone) were measured by 8 sensors.

The AE swarm were formed locally during the pre-stress loading. In the stress region over the pre-stress, AE hypocenters were distributed around and outer region of the AE swarm formed by the pre-stress. So, It seems to me that the Kaiser effect of AE occurred in the rock are caused by the extension of the micro-cracking regions formed during the pre-stress loading.

1. 緒 言

岩盤内応力の計測方法は、応力解放法、水圧破砕法等の原位置で計測する方法とAE法、DRA、DSC A等の岩石コアを用いて室内で計測する方法に大別される。このうち、岩石コアを用いる方法は、安価で、簡便に地圧を計測できることから近年注目されている。この中で、特に、AEのカイザー効果を利用した方法(AE法)については、今までに数々の検討結果や適用例が報告されてきている^{1)~3)}。

AE法に関して行われてきた主な検討には、地圧推定精度に及ぼす経過時間の影響と応力場の影響の検討がある。これらの問題はAE法を実用化するにあたって非常に重要な問題であるが、諸説があり現時点では明確な結論は得られていない。

その最も大きな理由として、AEのカイザー効果のメカニズムに関して十分な解明がなされていないということが挙げられる。筆者らは、岩石のAEカイザー効果は岩石内のマイクロクラックの挙動と密接な関連があるものと考え、岩石のAEカイザー効果に関する基礎的な検討として、AEのカイザー効果と岩石内のマイクロクラッキングとの関係を把握するための実験的研究を行った。本研究の特徴は、多段階の繰り返し載荷時に多点でAE計測を行い、その時のAE発生数-応力関係とAE震源分布との関係からAEカイザー効果について検討を行った点である。AEカイザー効果に関する従来の研究においては、AE発生数変化と応力またはひずみとの関係からの検討が主で、岩石内のAE震源分布からのカイザー効果についての検討は行われていない。

本論文では、所定の応力を繰り返し与えた岩石に、その応力以上の応力レベルで繰り返し載荷を行ったときのAE発生数-応力-AE震源分布の関係から、カイザー効果とAE震源分布との関係について検討する。

2. 実験の概要

2.1 岩石試料と載荷方法

実験に用いた岩石試料は白浜産砂岩で、試料の寸法、形状は縦、横30mm、高さ60mmの角柱形である。なお、端面の平行度はすべての試料について $\pm 1/50\text{mm}$ 以内に仕上げた。岩石試料への載荷は、MTS製810型材料試験機により荷重速度制御で行なった。なお、試料への載荷方向は、白浜砂岩の堆積面に垂直な方向である。

2.3 AE計測方法

本実験で用いたA E-ひずみ-荷重計測システムの概略を図1に示す。使用したA Eセンサーは直径5mmの差動型センサー(NF製AE-904DM)で、その共振周波数は500 KHz であり、200KHzから550 KHzで高い利得を有しており、本実験では8個のセンサーを試料側面に接着した。

A Eセンサーからの出力は、プリアンプで40dB増幅した後、A E計測装置(NF製9600)に送って更に40dB増幅した。試料に接着したセンサーの内、

試料の相対する側面にそれぞれ2個づつ、長方形に接着した4個のセンサーで検出したA E信号を用いてA E発生数と応力との関係を求めた。この4個のセンサーで検出されたA E信号から、試料とエンドピースの接触部、油圧源等に起因するノイズを除去し、岩石試料内部で発生したA Eのみを計数した。ノイズ除去の方法は、4個のセンサーへのA Eの到達時間差が設定値より大きい信号については、岩石試料外部で発生した信号としてこれを除去するというものである。また、計数されたA EはA E波形記憶装置(NF製9620)に送り、そこでサンプリング速度100nsec/wordでA/D変換を行い、1024ワードのデジタル波形データとしてハードディスク(容量312MB)に逐次記録した。A/D変換に際しては、50%の負の遅延を設定しているので、A E波形はP波初動から確実に記録されている。

実験終了後、記録されたA Eデータから特性パラメータの解析を行い、それぞれのA Eの特性パラメータと応力との関係を求めた。本研究で用いた特性パラメータは、イベントカウント、リングダウンカウント及び最大振幅の2乗値(以下、厳密には違うがエネルギーと呼ぶ)の3種類であるが、本論文ではリングダウンカウントの変化についてのみ述べる。

A Eの3次元ソースロケーションは、6チャンネル以上のセンサーで検出されたイベントについて、記録されたA E波形からP波初動到達時刻を読み取り、それを用いた繰り返し最小二乗法によって行った。なお、震源決定精度は、試料側面から弾性波を発振させて調べた結果、 $\pm 3\text{mm}$ 以内であった。

試料の側面に貼られたひずみゲージ及びロードセルの出力、A E解析装置からのA Eイベント数のアナログ出力は、1秒毎にA/D変換してコンピュータに取り込み、逐次ディスクに記録した。

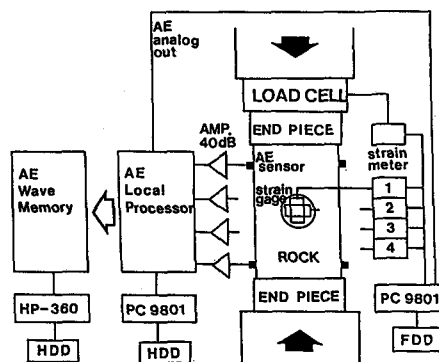


図1 A E計測システムの概要

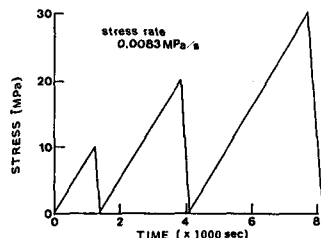
3. 実験結果と考察

3.1 多段階繰り返し載荷におけるカイザー効果とA E震源分布

本節では、図2に示すような載荷パターンで3段階の応力レベルで繰り返し載荷を行ったときのA E震源分布の変化について述べる。

図3は、繰り返し載荷時におけるA E発生数(リングダウンカウント)と応力との関係を示している。先行応力を越えるところからA Eが急増しているが、先行応力以下の応力レベルにおいてもA Eの発生が認められてお

図2 載荷パターンの一例



り、カイザー効果は明瞭ではない。

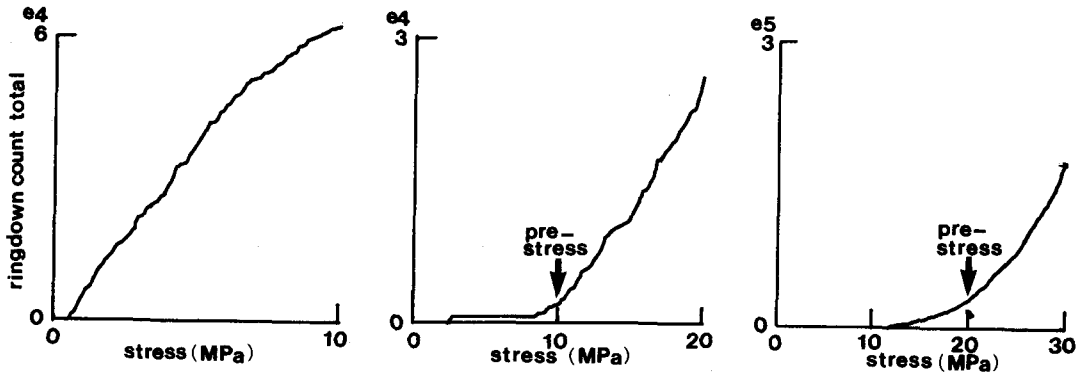


図3 繰り返し載荷時におけるAE発生数（累積リングダウンカウント）と応力の関係

図4は、この繰り返し載荷時における各応力レベルまでの載荷時のAE震源分布を示す。10MPaまでの載荷によって試料下方領域にAE集中域が同図(a)のように形成された。その後20MPaまで載荷を行ったが10MPa以上の応力レベルで発生したAEの震源はその集中域の周辺から+y及び+z方向側に分布しており、先行応力で形成された集中域はほぼAE空白域になっている(同図(b))。また、同図(c)には20~30MPaまでの応力レベルでのAE震源分布を示しているが、同図(b)で述べた傾向が顕著に現れている。すなわち、載荷応力の増加に伴ってAE震源が移動していることがわかるが、特徴的な傾向としては、先行応力によって形成されたAE集中域から外側にAE震源域が移動していることである。

また、図3において30MPaまでの載荷時において先行応力となった20MPaまでの応力範囲で多数のAEが発生しているが、

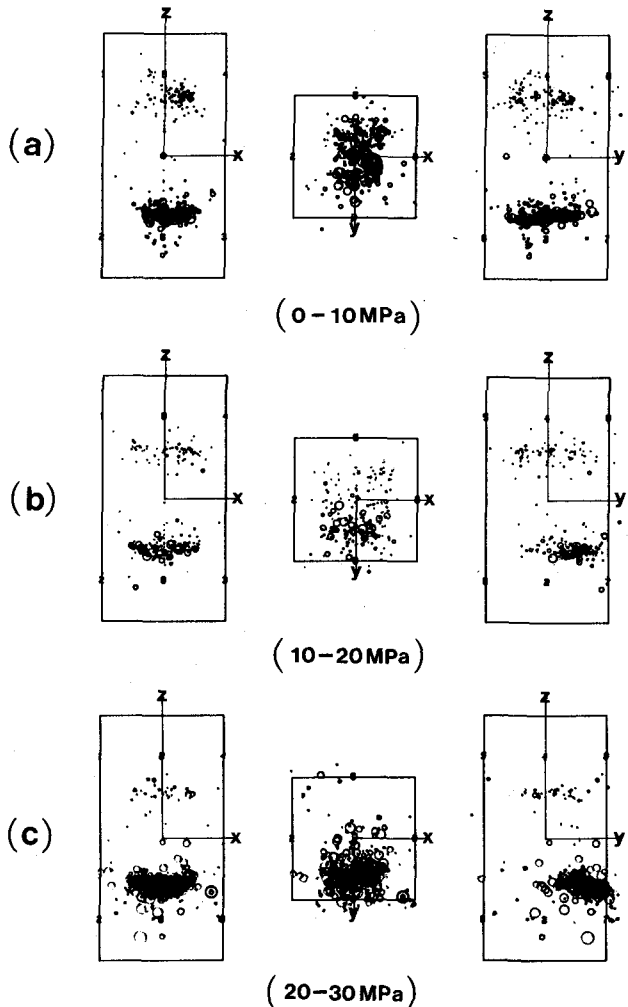


図4 繰り返し載荷時の各応力レベルでのAE震源分布

この応力範囲で発生したAEの震源分布を示したのが図5である。この震源分布を図4の20MPa 載荷時のA

E震源分布と比較すると、ほぼすべてのA E震源は先行応力で形成された試料下方のA E集中域内とその周辺に分布していることが分かる。したがって、先行応力以下の応力でのA E発生は、先行応力の载荷回数が1回であったので、岩石内における微小破壊領域が先行応力に対応した状態まで発達せず、その後の载荷によっても先行応力以下の応力レベルでA Eが発生したと推察できる。

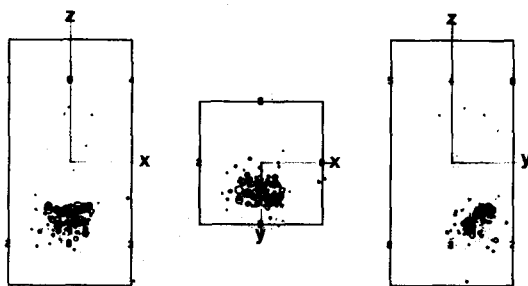


図5 30MPa载荷時の0~20MPaにおけるA E震源分布

つまり、先行応力（地圧）によって岩石内に形成される微小破壊が十分発達していない場合にはカイザー効果は不明瞭となり、その先行応力（地圧）の推定精度は低下することが予想される。

3. 2 繰り返し応力履歴を受けた岩石のカイザー効果とA E震源分布

繰り返し载荷によって10MPaの先行応力を与えた岩石に対して、25MPaまでの载荷を行ったときのA E発生数-応力関係とA E震源分布の変化について述べる。本節での検討では、10MPaまでの繰り返し载荷回数を、10MPaまでの载荷中にA Eが計数されなくなるまでの回数とした。これは、A Eが発生しなくなるまで繰り返し载荷を続けることによって、岩石内で応力10MPaに対応した微小破壊領域が形成され则认为たからである。したがって、試料によって繰り返し回数は異なり、白浜砂岩の場合には6回から25回の範囲であった。白浜砂岩の10MPaまでの繰り返し载荷時において発生したA Eの震源分布代表例を図6に示す。A E震源の集中域が試料上方の+yの領域に認められるが、この領域に10MPaまでの繰り返し载荷によって微小破壊の集中域が形成されたものと考えられる。

図7は、図6に震源分布を示した試料に10MPa繰り返し载荷直後に25MPaまでの载荷を行った時のA E発生数（リングカウンタ）と応力との関係を示している。先行応力以下の応力レベルではA Eの発生はみられず明瞭なカイザー効果が確認された。

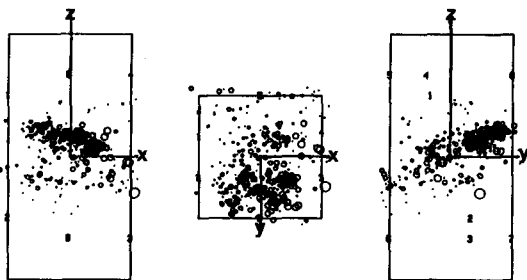


図6 先行応力の繰り返し载荷時のA E震源分布

このときのA E震源分布を図8に示すが、図6と比較して観察すると、A E震源は先行応力によるA E集中域を取り囲むように分布していることが分かる。また、試料下方へのA E震源の移動がもう一つの特徴として挙げられる。

以上のように、先行応力として与えた繰り返し応力によって岩石内には局所的にA E集中域が形成された。これによって、カイザー効果がA Eの明瞭な急増として観察されたが、それは、繰り返し先行応力によって形成されたA E集中域、すなわちマイクロクラッキング集中域からの微小破壊域の拡大、進展現象として出現することが、A E震源分布の3次元的变化から推察できた。

4 結 言

応力履歴岩石への载荷時に認められるA Eのカイザー効果と岩石内のマイクロクラックの挙動との関係を

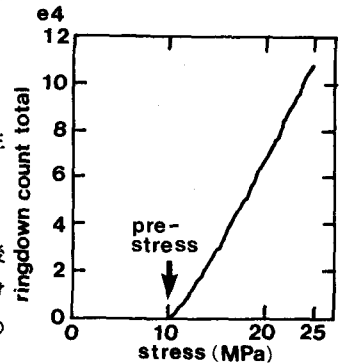
明らかにするために、A E震源分布の変化からカイザー効果について検討した。

以下、本研究によって得られた結果について要約する。

①応力履歴を受けた岩石内での微小破壊域の形成が不十分な場合には、その後の載荷時における先行応力以下のレベルにおいてもA Eは多数発生し、観察されるカイザー効果は不明瞭なものとなる。

②先行応力載荷後に観察される岩石のA Eカイザー効果は、先行応力の載荷によって形成された微小破壊域からのマイクロクラッキングに起因することが分かった。

図7
先行応力除荷後の載荷時におけるA Eと応力の関係



参考文献

1) 資源・素材学会 地下計測部門委員会：「地殻応力計測ワークショップ」資料集、(1989)

2) 金川忠、林正夫、仲佐博裕：「岩石における地圧成分のAcoustic Emissionによる推定の試み」土木学会論文報告集、第258号、1977年2月

3) 金川忠、北原義浩、林正夫：「岩石のA Eカイザー効

果を利用した地圧測定法—軸圧縮による測定法の詳細と適用例—」，電力中央研究所報告，研究報告381004，昭和56年7月

4) 村山朔郎、道広一利、藤原紀夫、畑 浩二：「花崗岩のクリープひずみとカイザー効果の関係」，土木学会論文集，第370号，Ⅲ-5，PP.41~46，1986

5) Yoshikawa, S and Mogi, K.: Experimental Studies on the Effect of Stress History on Acoustic Emission Activity- A Possibility for Estimation of Rock Stress, Journal of Acoustic Emission, Vol.8, No.4, pp.113-123, 1989

6) 瀬戸政宏、歌川学、勝山邦久：「繰り返し載荷時のA E発生特性を用いた応力履歴岩石からの先行応力推定」(投稿中)

7) 金川忠、新孝一：「地圧測定のためのカイザー効果に関する検討—A E法，DR法および音弾性法を用いて—」，第22回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp.431~435，1990

8) 村山朔郎、道広一利、斉藤二郎、吉岡尚也：「載荷方法が花崗岩のカイザー効果に及ぼす影響」土木学会論文集，第364号/Ⅲ-4，1985年12月

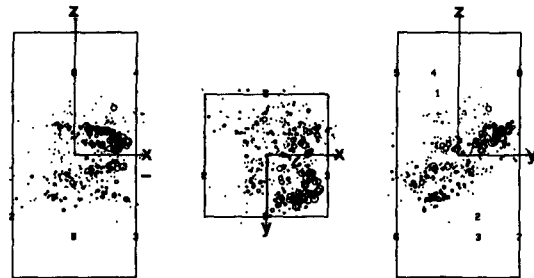


図8 繰り返し先行応力除荷後の載荷時におけるA E震源分布