

(8) 安山岩のAE時空間発生パターンについて

京都大学理学部 ○ 平 田 隆 幸
地質調査所 西 沢 修
佐 藤 隆 司
楠 瀬 勤 一 郎

1. はじめに

地下構造物の設計や、地震あるいは鉱山における山はねなどの予知をするためには、岩石の力学的挙動を知らなければならない。この目的のために、実験室において岩石の変形破壊実験がおこなわれてきた。なかでも、封圧下での岩石の変形破壊挙動を知ることは、一軸圧縮破壊実験に比べて地下の破壊条件をより反映していることから重要であると考えられる。

岩石に差応力を加えると、岩石は変形する。脆性領域での岩石の変形は、岩石内の微小破壊によっておこることが知られている。この微小破壊の発生にともなってアコースティック・エミッション（以下、AEと略す）と呼ばれる弾性波が放出される。われわれは、このAEを使って微小破壊の発生をモニターすることができる。AEは、発生時刻、発生場所、破壊規模、破壊メカニズムなどの情報を含んでいる。ここでは、AEの発生場所に注目し、岩石の空間破壊過程を明かにすることを試みる。

われわれは、封圧下で湯河原安山岩の破壊実験をおこなった。とくに、差応力を一定にたもったクリープ破壊実験に注目した。クリープ下の岩石に発生するAEの震源決定をおこなった研究には、先駆的にはMogi(1968)、最近ではNishizawa et al.(1984)、Yanagidani et al.(1985)などの実験がある。しかし、Mogi(1968)は曲げ試験であり、Nishizawa et al.(1984)、Yanagidani et al.(1985)は一軸圧縮下でおこなわれたものである。この研究において、封圧40MPa下でのクリープ時のAEの震源決定をすることができたので報告する。

2. 実験方法

岩石試料には、直径50mm、長さ100mmの円柱に整形した湯河原安山岩を用いた。端面の平行度は ± 0.005 mm以内になるようにした。岩石の空隙率は約5~6%であった。また、試料は空気中で放置し乾燥させたものを使用している。軸圧はピストンにより、また封圧は油圧を介してかけている。岩石と封圧油とのシールは、岩石試料にシリコンゴムを薄く（約2.5mm）まんべんなく塗ることによっておこなった。

AEのセンサーとしては、たて共振周波数2MHzのPZTトランスデューサ（直径5mm）を用いた。震源決定をおこなうために、岩石試料の側面に18個、上下のエンドピースにそれぞれ1個の合計20個接着した。PZTの接着は、試料に直接接着するのではなく、銅箔をまず試料に接着しその上にPZTを貼ることによっておこなった。ノイズを減らすために、PZTを金属のキャップで覆い、配線はすべて同軸ケーブルを用いておこなっている。また、クロス型ひずみゲージを試料の中央側面に3枚はり、縦方向・周方向のひずみ計測をおこなった。

実験システムをFig. 1に示す。PZTトランスデ

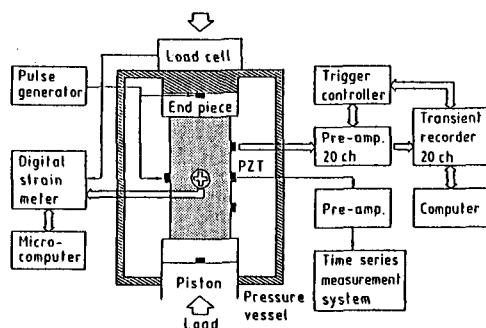


Fig. 1 Block diagram of the experimental system

1-サからのAE信号は、NFのプリアンプ(40dB)によって増幅された後、トランジェントメモリーに入力される。3つのPZTをトリガーチャンネルとして用いている。トリガーチャンネルでAEの信号がThreshold level(50mV)をこえると、PZTからのAEシグナルはトランジェントメモリーに記憶され、データはGP-IBを介してコンピュータに送られる。この転送時間が約1.3秒であり、AE計測のデッドタイムとなる。また、軸圧荷重およびひずみ計測はデジタルひずみ計を用いておこなった。データはGP-IBを介してマイクロコンピュータによって取り込んだ。封圧のコントロールは、マニュアルでおこない、実験中のゆらぎは ± 0.1 MPa以内に制御した。

3. 実験結果

封圧40 MPa下において、差応力をコンスタント・ストレス・レート、およびコンスタント・ストレス(クリープ応力設定値を変えた2つの実験)に制御し、安山岩の破壊実験をおこなった。応力・ひずみ曲線をFig. 2に示す。コンスタント・ストレス・レート実験(実験時間、約20,000秒)からもとめた湯河原安山岩の破壊強度は、約588 MPaであった。この値から計算すると、コンスタント・ストレス実験において設定したクリープ応力は、それぞれ破壊強度の約8.2%(482 MPa)、8.5%(500 MPa)にあたる。また、クリープ時間はそれぞれ、約200,000秒、80,000秒であった。コンスタント・ストレス実験における、ひずみの時間変化をFig. 3に示す。コンスタント・ストレス(クリープ応力)を設定した後、体積ひずみ(軸方向ひずみと周方向ひずみから計算した)は典型的なクリープ曲線を示していることがわかる。

AEの震源分布をFig. 4に示す。コンスタント・ストレス実験については、1次クリープ、2次クリープ、3次クリープわけてAE震源の分布を示した。ここで、クリープの各段階は、Fig. 3のひずみ-時間曲線より決めた(482 MPa, 37 80-20000, 20000-187000, 187000-195750 sec, 5

00 MPa, 3510-16500, 16500-64000, 64000-78400 sec)。クリープ応力482 MPa, 500 MPaのコンスタント・ストレス実験では、震源はそれぞれ、1085、1135個決めることができた。また、コンスタント・ストレス・レート実験においては、差応力が0-400 MPa, 400-500 MPa, 500-588 MPaになる区間で区切り、AE震源分布を示した。1099個のAE震源が求まっている。AE震源決定には、20個のPZTトランスデューサからのP波の到達時刻(arrival time)を使用した。震源決定を行うための岩石試料の速度構造は軸方向に平行と垂直の2方向に軸をもつ回転楕円体(軸圧方向に回転軸をもつ)によって近似した。この速度構造は実験中にP波速度を計測することにより求めた。AEの震源決定精度は ± 2 mm以内である。

Fig. 5に、AE震源の空間分布が時間とともにどのように変化していったかを示す。Fig. 4、Fig.

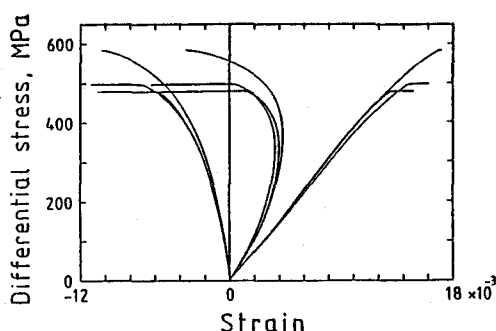


Fig. 2 Stress vs. strains relation

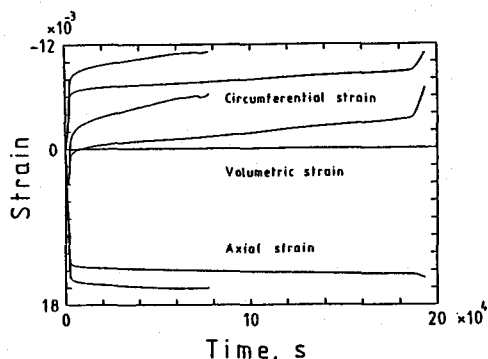


Fig. 3 Strains vs. time relation

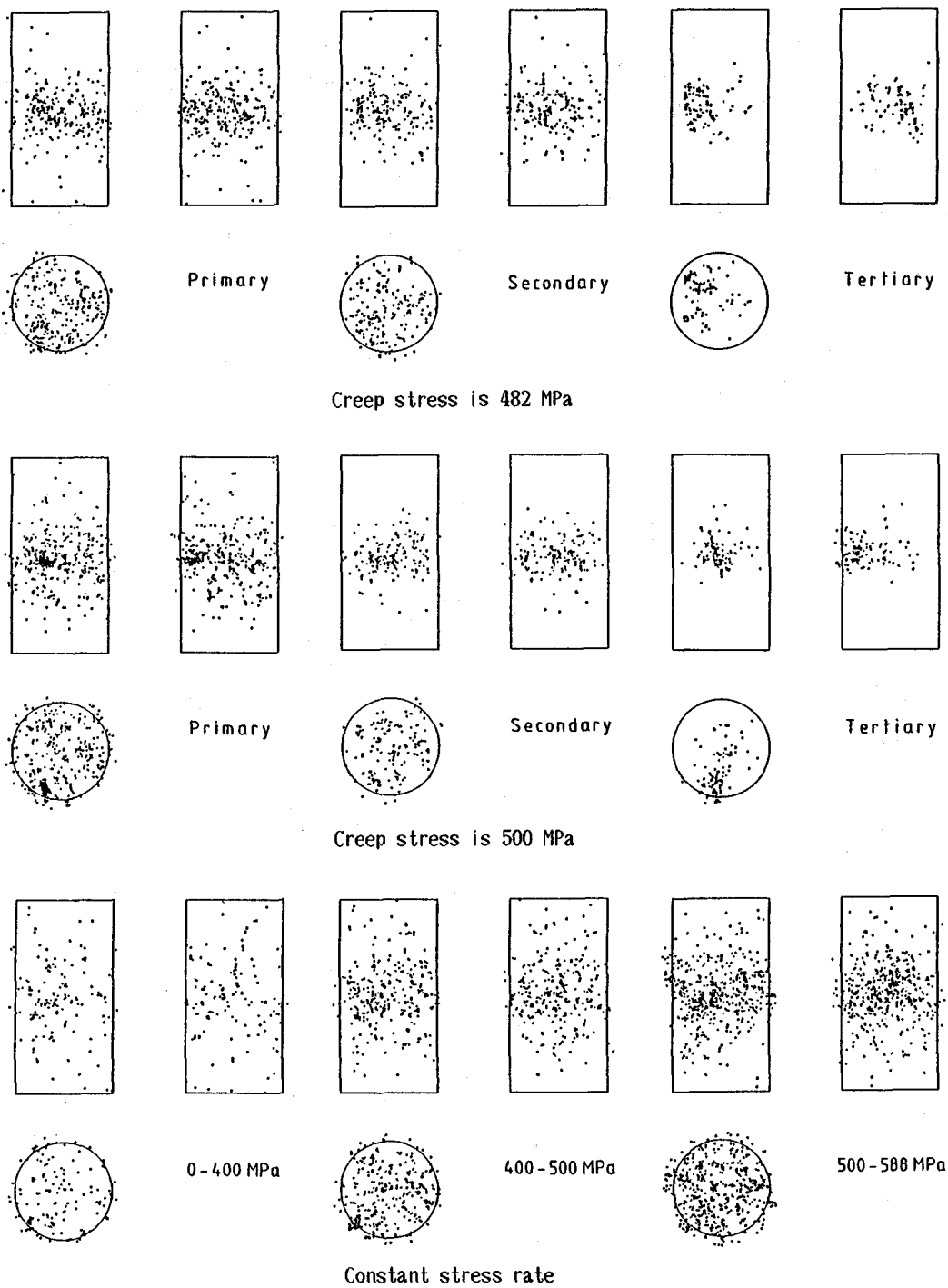


Fig. 4 Orthographic projection of acoustic emission hypocenters

5から、コンスタント・ストレス実験においてはAE震源クラスターが形成されていくこと、コンスタント・ストレス・レート実験では、AE震源の空間分布はほぼ一様であり、AE震源の局所集中化(クラスター形成)はおこらなかったことがわかる。しかし、コンスタント・ストレス実験(クリープ応力が482MPa, 500MPaの2つの実験について)においても1次クリープ・2次クリープではAE震源のクラスターは、顕著ではなく、3次クリープに至ってクラスターの形成が明かにみられるようになった。封圧40MPa下での花こう岩のコンスタント・ストレス実験においても、同じ現象を

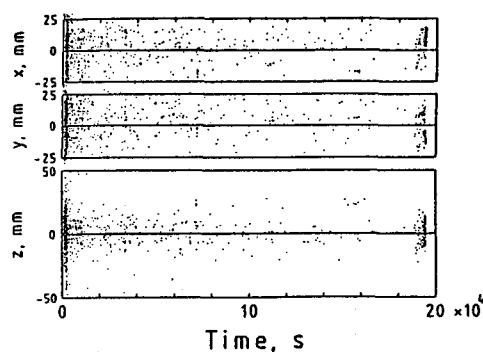
Hirata et al.(1986)は報告している。つまり、岩石試料全体の破壊は、破壊の直前においてはじめて微小破壊領域の局所集中化がみられ、試料全体が不安定(unstable)になり、カタストロフィックにおこると考えられる。

AE震源のクラスターについてより詳しくみると、preliminaryな結果ではあるが、500MPaのコンスタント・ストレス実験では、1次クリープ時に存在したAE震源のクラスターが、2次クリープではいったん消滅してしまうという現象がみつかった。また、482MPaのコンスタント・ストレス実験では、3次クリープ時に発生したAE震源のクラスターがマイグレーションしていることがみつかった。

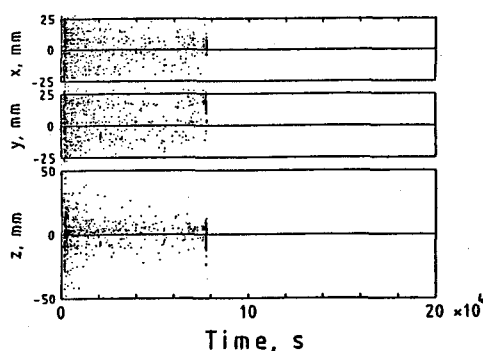
なお、本研究を進めるうえで、地質調査所の小出仁、高橋学の両博士にお世話になりました。ここに記して謝意を表させていただきます。

References

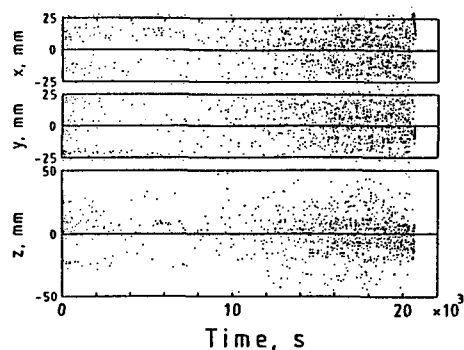
- Hirata, T., T. Satoh, and K. Ito, Fractal structure of spatial distribution of micro-fracturing in rock, (submitted to Geophys. J. R. astr. Soc.)
- Mogi, K., 1968, Source locations of elastic shocks in the fracturing process in rocks, Bull. Earthq. Res. Inst., 46, 1103-1125.
- Nishizawa, O., K. Onai, and K. Kusunose, 1984/1985, Hypocenter distribution and focal mechanism of AE events during two stress stage creep in Yugawara andesite, Pure Appl. Geophys., 122, 36-52.
- Yanagidani, T., S. Ehara, O. Nishizawa, K. Kusunose, and M. Terada, 1985, Localization of dilatancy in Ohshima granite under constant uniaxial stress, J. Geophys. Res., 90, 6840-6858.



Creep stress is 482 MPa



Creep stress is 500 MPa



Constant stress rate

Fig. 5 Hypocenters are plotted against time

(8) Spatial Pattern of Acoustic Emission Hypocenters in Andesite

Takayuki HIRATA
Kyoto University
Osamu NISHIZAWA
Takashi SATOH
Kinichiro KUSUNOSE
Geological Survey

ABSTRACT

A constant stress rate fracture experiment and two constant stress fracture experiments of Yugawara andesite were carried out under a confining pressure of 40 MPa. Hypocenter of acoustic emission were located. At a constant stress fracture experiment, the spatial distribution of acoustic emission hypocenters were almost uniform during the experiment. Volumetric strain vs. time curves of the constant stress fracture experiments show typical creep behavior. Spatial distributions of hypocenters tend to cluster with the progress of the creep. Migration and disappearance of hypocenter's clusters were observed during the creep.

In this research, we find out that the localization of micro-fracturing occurs just prior to the ultimate fracture of whole rock sample.