

## 三軸条件下における広帯域連続集録から得られたAEのコーナー周波数と地震モーメントの関係 Relationship between $f_c$ and $M_0$ for AE from continuous and broadband records under a triaxial compressive condition

吉光 奈奈<sup>1\*</sup>, 川方 裕則<sup>2</sup>, 高橋 直樹<sup>3</sup>

Nana Yoshimitsu<sup>1\*</sup>, Hironori Kawakata<sup>2</sup>, Naoki Takahashi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 立命館大学, <sup>3</sup> 三井住友建設

<sup>1</sup>Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, <sup>2</sup>Ritsumeikan University, <sup>3</sup>Sumitomo Mitsui Construction Co., Ltd.

これまでに、実験室における岩石の圧縮破壊試験から、試料内で発生する微小破壊 (Acoustic Emission; AE) を利用して断層の成長を詳細に調べる試みが行われてきた [例えば, Yanagidani et al., 1985; Lockner et al., 1991]。しかし、実験室で得られた知見を自然地震に応用するには、そもそも岩石試料内で発生する微小破壊と自然地震が同じ現象なのか否かを明らかにする必要がある。一般的に、破壊を特徴付けるためには、コーナー周波数や地震モーメントといった、破壊パラメタと呼ばれる破壊の力学的挙動を示す物理パラメタが用いられる。これまでに、マグニチュード-4程度の地震までについては、コーナー周波数が地震モーメントの-3乗に比例するというスケールリング (三乗則) が規模によらず成立することが示されている [例えば, Abercrombie, 1995; Kwiatak et al., 2011]。しかし、より小規模なAEについてもこの関係が成り立つかどうかは、まだはっきりとわかっていない。本研究の目的はAEが三乗則に従うかどうかを明らかにすることである。

過去の岩石破壊試験でAEの集録に用いられてきた圧電素子は、共振が強く、特定の帯域でのみ感度が高いという特徴があり、スペクトル解析による破壊パラメタ推定には不適であった。そのため Sellers et al. [2003] は広帯域トランスデューサによるAE集録を実施し、破壊パラメタの推定を試みた。しかし、推定されたパラメタはAE単独での三乗則を満たしていなかった。その原因として、自然地震の発生する圧力環境とは異なる大気圧下での実験であったことや、高周波成分の波形較正が不十分であったことなどが考えられる。そこで本研究では、既存の実験技術では不可能であった封圧下での複数チャンネルによるAE集録を初めて実現し、スペクトル全体に較正を施すことによって、より信頼性の高いAEの破壊パラメタの推定を試みた。さらに、AE単独のコーナー周波数と地震モーメントがどのような関係を示すのかを調べるために、取りこぼしなく大小さまざまな規模のイベントを集録するための連続集録も実現した。

直径50 mm、高さ100 mmの円柱形のWesterly花崗岩について、試料の周囲7点と上下2点に新たに開発した耐圧容器に封入した広帯域圧電トランスデューサ (感度帯域: 100-2000 kHz) を配置し、約6時間に渡る三軸圧縮試験を実施した。サンプリングは20 MS/s、封圧は10 MPaで、差応力が破壊強度 (296 MPa) に達した後、46 MPa程度降下するまで載荷を継続し、急速に除荷して試料を回収した。得られた連続記録 (数回の1分以内の欠測を含む) に対してAICを用いたオートピックを実施し、最小二乗法により震源決定を行った。P波速度 (5700 m/s) は、差応力200 MPa時に試料内を透過させた波から推定した。実験全体で決定された震源6794個のうち、イベント発生レートが急激にあがった破壊強度後の2つの時間帯 (それぞれ約3分間) に発生したイベント群について、クラスタリングをおこなった。震源距離が2 mm以内で相互相関値 (BPF: 100-300 kHz) が0.8以上のイベント群を同一クラスタとみなし、2つの時間帯の最大クラスタに対して破壊パラメタの推定を実施した。

イベント波形のS波部分のスペクトルに対して、Yoshimitsu et al. [2012] と同様の手法で較正を行い、S波変位スペクトルを得た。4点以上でS/Nが2倍以上の記録が得られた1000個程度のイベントについて、得られた変位スペクトルの低周波振幅レベル、S波速度、震源距離を用いて、地震モーメントとコーナー周波数を推定した。

各クラスタに含まれるモーメントマグニチュード-8から-7程度のイベントについて、得られたコーナー周波数と地震モーメントの値は、AE単独で三乗則を満たしていた。さらにこれらは、これまでに見ついている自然地震の破壊パラメタが持つ三乗則の延長上に位置していた。2つのクラスタで破壊パラメタの値に顕著な差は見られず、応力降下量は0.4 MPaから12 MPaの間に分布していた。

この結果により、岩石試料内での破壊の性質が自然地震と一致することが明らかになり、実験室で得られる知見を自然環境へ適用できる期待が高まった。

キーワード: コーナー周波数, 地震モーメント, スケールリング, AE, 岩石破壊実験

Keywords: corner frequency, seismic moment, scaling, AE, rock fracture experiment