

Ⅲ-308

三軸下における岩石のA E発生特性の
定量化に関する実験と考察

日本大学工学部 正員 田野久貴
応用地質(株) 正員 吉沢大造

1. まえがき

圧縮下で岩石に発生するA Eは破壊や変形に関する情報を含んでおり、土木の分野でも種々の応用が考えられまた実施されつつあるが、例えばA Eカウントは、同一測定条件であってもバラツキ、また応力条件によってもその特性が異なり定量化があまり試みられていないようである。一方、微視的欠陥を含む材料の逐次破壊は確率過程とみなせ、応力速度一定、温度一定下では一般にその過程はWeibull形になると言う指摘¹⁾がある。A E波はこれらの微視破壊の結果であるからA E特性もWeibull分布に従う可能性がある。このような観点から、A Eトータルカウントを一種の確率分布関数と考えて一軸下のそれに適用した結果を既に報告²⁾した。本文ではこの考えを三軸下での大谷石に適用し、その挙動が同様にWeibullパラメーターで定量化可能であることを報告する。

表-1 A E計測条件

センサー共振周波数	140kHz
増幅度 プリアンプ	40dB
メインアンプ	20dB
ハイパスフィルター	100kHz
ローパスフィルター	500kHz

2. A E発生確率分布の定義

A Eの発生確率分布 $F(x)$ を(1)式のように定義している。

$$F(x) = Q(x) / Q(x_f) \quad (1)$$

ここに、 $Q(x)$: ひずみ x の時のA Eトータルカウント、 $Q(x_f)$: 最終破壊時のトータルカウント。

一方、具体的な確率分布関数の形としては(2)式の2母数Weibull分布を用いる。

$$F(x) = 1 - \exp [-(x/\xi)^m] \quad (2)$$

ここに、 m : 形状のパラメーター、 ξ : 尺度のパラメーター

3. 実験方法

3.1 三軸圧縮試験と試験試料

岩石は石材店より購入した大谷石ブロックからコア抜き整形($\phi 5 \times 10 \text{cm}$)し絶乾状態にして用いた。その乾燥密度は 1.36g/cm^3 一軸圧縮強度は 128.3kgf/cm^2 である。用いた試験機は剛性を高めるため反力フレーム・柱一体型とした油圧サーボコントロール方式で最大能力、軸荷重 200tf 、側圧 500kgf/cm^2 である。設定拘束圧(σ_3)は、一軸状態($\sigma_3 = 0$)を含めて 75kgf/cm^2 までの8状態について実施した。

3.2 A Eの計測設定条件

A Eセンサーは上下加圧盤内に2個、計4個ずつ設置しA Eカウントはその平均を用いた。コインシデンス機能を用いて端面近傍より発生するA Eを除去するよう努めた。設定条件を表1に示す。一般にいわれる残留強度状態におけるA E発生状況はピーク前後に比べて相当小さいことが知られているので、実験上の便宜を考慮してここではひずみ3%時をもって最終破壊とした。

4. 実験結果および考察

4.1 Weibull分布の適用

図1に得られた応力-ひずみ関係とA E-ひずみ関係(各平均)を示す。後者のデータをもとに(1)式を用いると図に示す分布が得られるが、それがWeibull分布をなすか否かはWeibull確率紙にプロットしその直線性を検討することで比較的簡単に知ることができる。パラメーター m はその直線の勾配、また、 ξ はその直線と $Y = 0$ 軸との交点の x 座標値(ひずみ)から得られる。図2は拘束圧を変えて得られた例である。これらよりほぼWeibull分布に従う

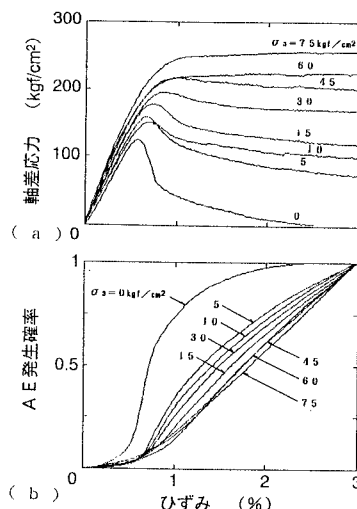


図-1 軸差応力およびA E発生確率-ひずみの関係

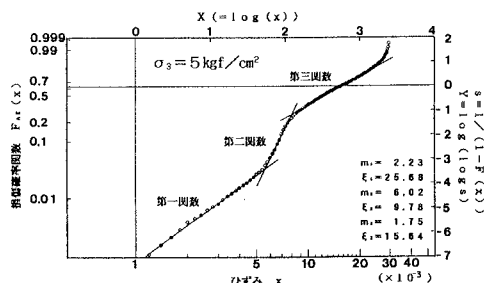


図-2 (a) A E発生確率のWeibull表示

ことまた、複数の分布から構成されていることがわかる。

4. 2 複合分布とひずみ域の対応

図2に示す3本の分布関数を便宜上、低ひずみ域より順に第一、第二及び第三関数と称することにする。図1の応力-ひずみ関係における例えば $\sigma_3 = 5 \text{ kgf/cm}^2$ と図2(a)の複合分布の比較より、第一関数は応力-ひずみ関係におけるほぼ線形領域に、第二関数はピーク強度をはさんだ領域に、そして第三関数は残留強度が顕著となる領域にそれぞれ対応していることがわかる。

4. 3 拘束圧によるWeibullのパラメーターの変化

図2の各例より拘束圧により各分布が変化することがわかる。拘束圧が増加すると第二関数の勾配 m_2 が減少して次第に第三関数に接近する傾向が認められる。図3及び4はこのようにして整理した2種類のパラメータ m と ξ の拘束圧との関係をみたものである。本実験の場合拘束圧(σ_3)が 75 kgf/cm^2 付近になると $m_2 = m_3$ 、 $\xi_2 = \xi_3$ となり第二と第三関数はほぼ一致してしまい、A E発生確率分布は第一と第三関数で構成される複合分布となる。

4. 4 パラメーターの意義

形状のパラメーター m は一般に分布のバラツキの指標とされるが、ここではA Eの単位ひずみ当りの発生率に対応する。本実験では比較的低拘束圧レベルでは、第二関数の m_2 がその両側の第一および第三のそれらより常に大きい。A Eカウントが内部の微視破壊と対応すると考えると、第二関数の領域で活発に微視破壊が発生しこれによってピークが出現すると考えられる。したがって、 m_2 の値はピークの鋭さの一つの指標、換言すれば時間的な破壊の発生確率の指標となるが、拘束圧の増加によってこれは減少するので、破壊確率が時間的に分散することを図3は示している。一方、それぞれの ξ は $\sigma_3 = 45 \text{ kgf/cm}^2$ 付近まで共に直線的に増加しそれ以後は微増の傾向にある。3つの ξ がともに増加する意味は、拘束圧によってA E発生確率がより高いひずレベルに移動することを示している。

5. まとめ

ひずみ3%時のA Eトータルカウントを1として、A E発生確率分布関数を定義して、大谷石の実験を行った。

1) その分布はWeibull分布で近似可能である。2) 破壊開始から全体破壊まで3つの分布関数で構成される複合分布をなす。3) 第一関数は応力-ひずみの線形領域、第二関数はピーク強度前後、第三関数は残留強度域に対応する。4) 拘束圧が増加すると第二関数は第三関数に漸移する。

なお、巨視的に破壊が顕著とならない初期の段階ではそれ以後の挙動の推定は困難と考えられるが、この領域の第一関数と他の二つの関数の相互関係を検討することでピーク強度や残留強度を推定できる可能性を含んでおりさらに検討したい。

参考文献

- 1) 横堀, 沢木: 破壊強度と寿命に対するWeibull表示の確率過程論からの導出, 日本材料強度学会誌, 6-4, pp. 109-114, 1972.
- 2) 田野: A Eによる損傷確率に関する実験と考察, 土木学会東北支部発表会概要集, pp. 350-351, 1991

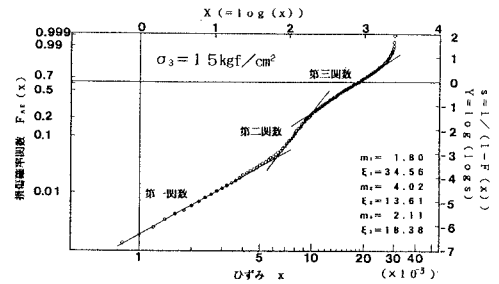


図-2 (b) A E発生確率のWeibull表示

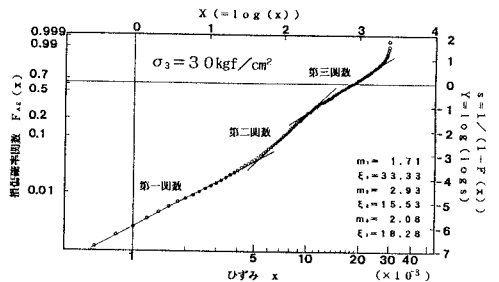


図-2 (c) A E発生確率のWeibull表示

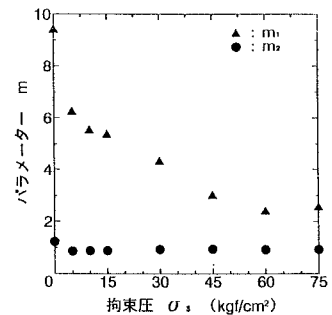


図-3 パラメーター m と σ_3 の関係

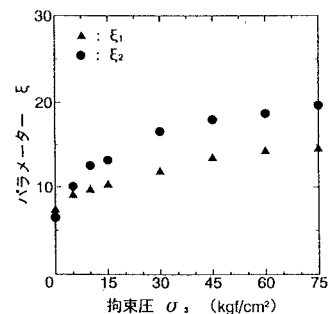


図-4 パラメーター ξ と σ_3 の関係