

III - 4

損傷確率表示における応力-AEの の相関について

日本大学工学部 正員○田野久貴
応用地質(株) 正員 吉澤大造
日本大学工学部 正員 渡辺英彦

1. まえがき

AEは実験的に岩石等の材料の不均質さの定量化や逐次破壊を追跡する一つの方法として有効であるが不均質さの影響を受けてばらつく。そこでこのようなばらつきの影響を軽減しAEカウン트의分布をAE発生確率として定量化する方法をAE-ひずみ関係について提案¹⁾し、また大谷石に適用した結果を報告²⁾した。この大谷石の3軸圧縮下でのAE挙動はWeibull分布に従い、確率パラメーターでその挙動が定量化可能であることを示した。一方、このデータの応力-ひずみ関係に既に提案³⁾している同様な損傷確率を適用して確率パラメーターを得たので、これらを比較した結果を報告する。

2. 内部損傷の確率表示

2.1 応力変化とAEの関係

岩石内部の個々の微視クラックの発生や伝播はひずみエネルギーの解放、すなわち個々のAEとして観測されるから、AEにより応力に変化の現れないひずみレベルから内部の変化を知ることが出来る。一方、この組織敏感性が欠点ともなりAEではさらにばらつくこととなる。したがって、次に述べるように分布として把握する必要がある。

2.2 AEと応力の損傷確率モデル

ひずみ x のとき、発生するAEの確率 F_a を次式で定義した。

$$F_a(x) = \frac{Q(x)}{Q(x_f)} \quad (1)$$

ここに、 $Q(x)$ 、 $Q(x_f)$ はそれぞれひずみ x および最終破壊(x_f)におけるトータルカウントである。具体的には次のWeibull分布を用いる。

$$F_a(x) = 1 - \exp [-(x/\xi_a)^{m_a}] \quad (2)$$

ここに、 ξ_a および m_a はそれぞれ尺度とバラツキのパラメーターである。一方、応力-ひずみ関係にも次式で示されるWeibull確率分布が適用可能であることが示された⁴⁾。

$$F_s(x) = 1 - \exp [-(x/\xi_s)^{m_s}] \quad (3)$$

ピーク強度を与える時のひずみ x_{ok} は次式で与えられる。

$$x_{ok} = N_s \xi_s \quad (4)$$

$$N_s = (1/m_s)^{1/m_s} \quad (5)$$

(4)式を(2)式に代入すると次式が得られる。

$$F_a(x_{ok}) = 1 - \exp [-(N_s \xi_s / \xi_a)^{m_a}] \quad (6)$$

ここに、 m_s 、 ξ_s は応力、 m_a 、 ξ_a はAEに関するパラメーターである。

したがって、(6)式より4個のパラメーターが得られればピーク時のAE発生確率が決定される。すなわち、先の応力-ひずみ関係と同様にAE発生確率としては材料としての固有の値をもつ。

3. 実験結果

大谷石(φ5×10cm)を用いて、一軸および三軸圧縮試験を実施した。図1 軸差応力-ひずみ関係とこのときのAEトータルカウントをもとに(1)式を用いて得られた応力による損傷確率とAE発生確率分布

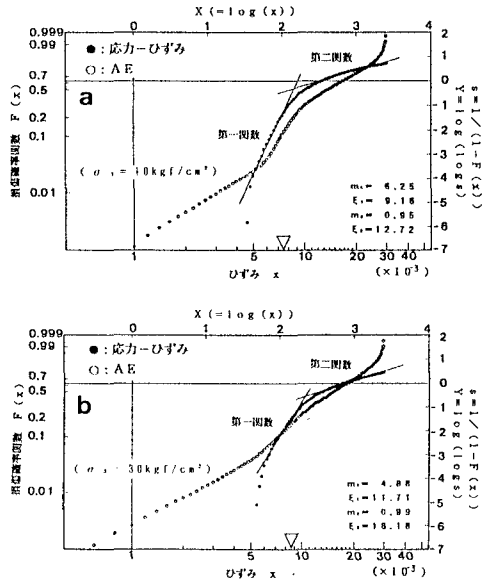


図1 応力損傷及びAE発生確率の比較

		AEによるパラメーター			
		m_{a1}	ξ_{a1}	m_{a2}	ξ_{a2}
応力によるパラメーター	m_{s1}	0.857	-	0.847	-
	m_{s2}	-	0.839	-	0.972
	ξ_{s1}	0	-	0	-
	ξ_{s2}	-	0.791	-	0.953

表1 AEと応力パラメーターの相関

を比較した例である。なお、拘束圧下では便宜的にひずみ3%を最終トータルカウント Q_t とした。これらから、 $F_s(x)$ および $F_a(x)$ は一軸および三軸圧縮下それぞれにおいて、それぞれ2ないし3本の直線で近似される複合分布をなしていることがわかる。グラフ上で低ひずみレベルより順に第1、第2および第3関数と称し、それぞれのパラメーターに数字の添字を付けることとする。ピーク強度対応ひずみ点をこれらの図中に示してあるが(▽)、AEおよび応力における分布にいくつか存在する変曲点とは対応しないことがわかる。AEによる分布は応力のそれよりグラフ上で左に位置するが、応力-ひずみでは把握出来ないひずみレベルからの微視破壊の傾向がここに示されている。また、AEの方が拘束圧の広い範囲にわたって応力のそれより安定した分布として表現可能なことがわかる。

4. 考察

4.1 ピーク強度前後におけるパラメーター

図2に各パラメーターと拘束圧 σ_3 との関係を示す。 m は確率的にはばらつきを示すが物理的には破壊速度と対応する。したがって、 σ_3 の増加につれて微視破壊が抑制されると、破壊は与えられるひずみのより高くかつ広い範囲に分散するため m は減少し、確率分布全体はグラフ上で右にシフトすることによりもう一つのパラメーター ξ は増加する。この傾向はAEと応力ともに観察される。比較的低拘束圧下では、応力に関する第1関数(m_{s1})はAEでは第1(m_{a1})と第2関数(m_{a2})よりなり $m_{a2} > m_{a1}$ なので、微視破壊は途中で加速されることがわかる。 m_{a2} 、 m_{s1} が拘束圧に敏感であること、これに対してこれらと同様にピーク前のパラメーターである m_{a1} は鈍感であることは微視的破壊モデル構築上、重要であるように考えられる。

4.2 残留応力領域におけるパラメーター

m_{a3} と m_{s2} とではやや傾向が異なるがともに拘束圧 σ_3 には鈍感である。 m_{s2} は殆ど一定とみなせよう。これに対して m_{a3} はやや増加して、次第に減少する m_{a2} と互いに接近し、この場合 $\sigma_3 = 60 \text{ kgf/cm}^2$ 付近で一致する。 m_{a2} はピーク点を含んだ領域、 m_{a3} はいわゆる残留応力領域とされる、応力-ひずみの観点からは区分して考えられる傾向にある領域である。この両者が高拘束圧下で一致することは前述ように微視破壊モデルを考える上で興味深い。

4.3 AEパラメーターと応力パラメーターの相関

図3にAEと応力による各パラメーター間の相関の例を、表1に拘束圧全体にわたって検討した結果を示す。すでに分布関数の比較より、応力の第1関数はAEの第1および第2関数と対応している。 ξ は $Y=0$ との交点の x 座標値であるが、 ξ 間は正の相関を示し特に ξ_{s1} と ξ_{a2} は相関が高い。破壊発生速度のパラメーター m_{a1} 、 m_{a2} と m_{s1} は正の相関があるが、これらと第2領域の m_{s2} とは全く相関が認められない。

5. まとめ

大谷石の場合応力変化より得られる損傷確率分布より、AE発生確率分布の方が内部損傷に敏感であり、比較的広範囲の拘束圧下の挙動をカバー可能である。ピーク強度はどちらの分布においても分布の変曲点等の特別な点とは対応しない。

参考文献

- 1) 田野：AEによる損傷確率に関する実験と考察，土木学会東北支部技術研究発表会概要集，pp. 350-351，1991。
- 2) 吉澤：AEを用いた三軸下の内部損傷の定量化に関する研究，日本大学修士学位論文，1995。
- 3) 田野・佐武：損傷確率関数による岩石の強度と変形の解析，土木学会論文集，NO. 418/III-13，pp. 211-220，1990。
- 4) 田野・吉澤・渡辺：AEによる三軸圧縮損傷の定量化に関する実験的研究，日本大学工学部紀要，Vol. 37，pp. 19-25，1996。
- 5) 田野・吉澤・渡辺：AEによる岩石のピーク強度予測の検討，土木学会 第27回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp. 251-255，1996。

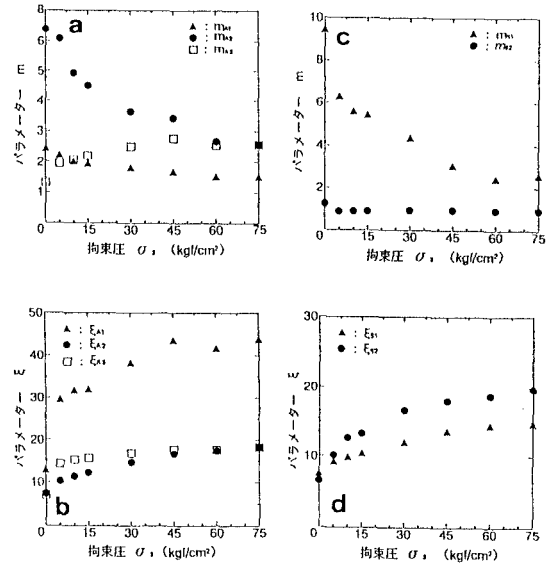


図2 AEと応力損傷パラメーターの拘束圧との関係

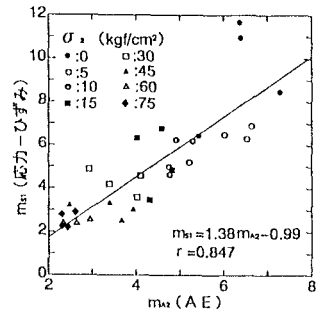


図3 AEと応力損傷パラメーター間の相関の例