

III-15 AEによる損傷確率に関する実験と考察

日本大学工学部 正員 田野 久貴

1. まえがき

岩質材料の大きな特徴の一つは、周知のようにその強度や応力-ひずみ関係がばらつくことである。その原因はこれを構成する微視構造そのものが不均質であることに由来している。試験片の適当な大きさの部分を考え、例えば、応力-ひずみ関係の確率母集団が得られれば、いくつかの方法によってその応力-ひずみ関係を数値的に求めることは可能であろう。しかし、圧縮や引張と言った応力条件の相違やピーク強度以後を含めた力学挙動を、いくらかでも解析的に取り扱おうとすると、検討しなければならない多くの問題がある。このような、材料が不均質であると言う観点のもとで、応力-ひずみ関係と逐次微視破壊とを関係づけるモデルとして、すでに応力-ひずみ関係から損傷確率モデル¹⁾を求める方法を提案しているが、本文ではAEを用いた結果を報告するものである。

2. AEによる損傷確率の定義

前述した応力-ひずみ(荷重-変位)関係による損傷確率関数 $F(x)$ は、割線コンプライアンス λ から計算される¹⁾。

$$F(x) = 1 - (\lambda(x)/\lambda_0) \quad (1)$$

ここに、 x : ひずみ(または変位)、 $\lambda(x)$: ひずみ x のときの割線コンプライアンス、 λ_0 : 初期コンプライアンスである。

$F(x)$ として、次に示す式(2)のWeibull分布を用いるとピーク強度以後を含めたひずみ-応力関係が解析的に求められること、また、大理石試験片を用いた実験の場合は実際にWeibull分布を示すことを報告している。

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

ここに、 ξ : 尺度のパラメーター、 m : 形状のパラメーターである。

一方、AEイベントを用いた損傷確率関数 $F_{AE}(x)$ をつぎのように定義する。

$$F_{AE}(x) = Q(x)/Q_f \quad (3)$$

ここに、 $Q(x)$: ひずみ x のときのAEトータルカウント数、
 Q_f : 完全に耐荷力を失うまでに発生したAEトータルカウント数である。

すなわち、式(3)は完全に破壊するまでに発生したAE総数(Q_f)を1として、ひずみ x における破壊(損傷)状態を、それまでの発生数($Q(x)$)との比率で表現したものである。

3. 実験結果および考察

3.1 ひずみ-応力関係による損傷確率関数

白河産の石英安山岩質溶結凝灰岩(通称白河石)の一軸圧縮試験をひずみ制御(ひずみ速度: 5×10^{-6} /

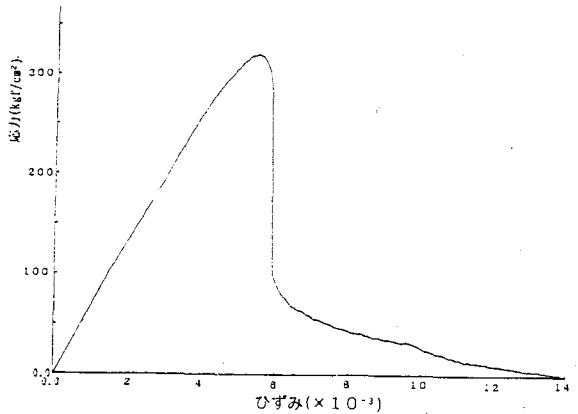


図-1 白河石のひずみ-応力関係の例

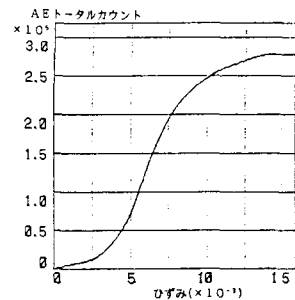


図-2 図-1と対応したAEトータルカウント

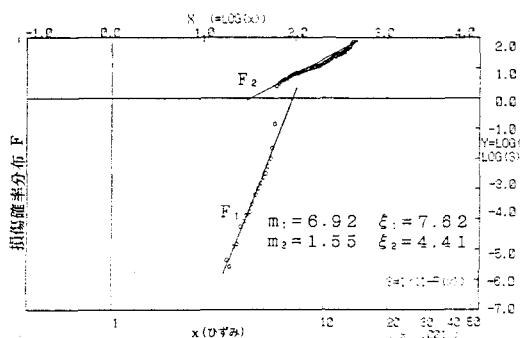


図-3 ひずみ-応力(図-1)による損傷確率分布 (Weibull座標表示)

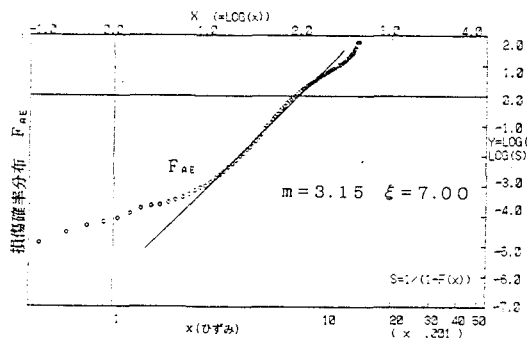


図-4 ひずみ-AE(図-2)による損傷確率分布 (Weibull座標表示)

sec)で行い、ひずみ-応力関係およびAEを計測した(図2)。比較のために、まずひずみ-応力関係による損傷関数の結果について述べる。

図3はひずみ-応力関係(図1)よりもとめた損傷確率をWeibull確率紙(座標)にプロットしたものである。これらの点がほぼ直線上にあればその関係はWeibull分布に従う。同図より明らかなように、これらの関係は2本の直線で近似できることがわかる。これはすでに指摘¹⁾したように、その破壊過程が複合分布で近似されることを意味している。二つのパラメーターのうち、 m はこれらの直線の勾配より、 ξ は $Y=0$ の軸とこれらとの交点の x (ひずみ)座標値よりそれぞれ得られる。

3.2 AEによる損傷確率関数

円柱試験片(5×12.5cm)の側面に4個のAEセンサー(140Khz, ディスクレバ[®]0.4V)を配置し、それらの平均値をトータルカウントとした。図4に図3の結果と対応するAEによる損傷関数をWeibull座標にプロットしたものを示す。载荷端面の微小な凹凸によると思われる、载荷初期の低ひずみレベルのAEを無視するとこれもほぼ直線で近似され、Weibull分布と見なすことができる。図3の結果と比較すると、図3の2本の直線の内の F_1 より、図4の F_{AE} は上位にある。これは、軸ひずみの変化からは感知できないようなレベルの内部損傷をAEによって知ることができることを意味している。また、ひずみ-応力関係では複合分布を示すのに対し、この例ではAEのそれは単一分布で近似されることがわかる。一方、図2のひずみ-応力関係においては、ひずみ $x = 6 (\times 10^{-3})$ 付近で損傷確率が急増し、ピーク強度点を過ぎたあとの急激な応力低下と対応していることが認められる。しかし、図4の F_{AE} においてはこのような顕著な急増点ないし変曲点は認められない。ひずみ-応力関係より得られる F は、試験片内に三次元的に生じている微視的損傷の平均であり、AEも平均によるものであるから、単純に比較すると応力的な変化と平均的AE発生とは必ずしも対応しないことになる。換言すれば、応力変化による損傷確率関数 F とAE発生率によるそれ F_{AE} とは異なるWeibull分布に従い、AE発生の方は単一確率過程で近似されることを意味するものであろう。

4. 今後の問題点

AEイベントはセンサーや測定条件によって異なるので、1) AEの設定条件を変えた実験による結果の比較、2) 材料を変えた実験、3) 局所的なAE発生現象との比較、4) 応力状態による比較などの検討、5) F と F_{AE} におけるパラメーター相互の相関などの検討を行う必要がある。従来、AE現象において定量化し得るものとして、発生源位置評定やカイザー効果がその主なものであるが、損傷確率関数についても個々の点は興味のある問題である。

参考文献

1) 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。