

京都大学工学部 ○佐野 修 (正会員)

〃 柳谷俊 (〃)

寺田孝()

I はじめに

一軸圧縮のもとで岩石に荷重を加えてゆくと、最初は弾性的挙動を示すが、最大耐荷重の約 $1/2$ 付近から、非弾性的挙動を示し始める。これは内部に発生する *microfracture* に起因するものと考えられる。*microfracture* の周辺に蓄積されていた歪エネルギーは表面エネルギーと運動エネルギーとによって解放される。その際、微弱的応力波を発生し、*Acoustic Emission (AE)* が観測される事はよく知られている^{1), 2), 3)}。筆者らも、今までに岩石内で発生する *AE* に関連する研究を行ってきたおり、それらの成果の一部は既に発表しているので、*AE* や *dilatancy* の測定装置の詳細は略すが、その概要は *Fig. 1* に示すところである。



II AEの規模別頻度分布

岩石内部で発生するAEの規模や周波数は、広帯域であることを考慮し、受信子とレゾナンス周波数あるいは共振型で、厚み方向の共振周波数が1MHz, 1.8MHz, 6MHzと、AEの卓越周波数(150KHz~600KHz)に近レズな割合のものを用いた。レゾナンス、受信子の横方向あるいは径方向の共振周波数が150KHz~500KHzと低いので、受信波列の最大振幅は、この径方向の共振周波数の影響をうける⁴⁾。金子ら⁵⁾によると、*dislocation model*により解析されたAEのエネルギーと、受信波列の最大振幅の間には、(1)式が成立する。この式は地震学で用いられる(2)式ともよく一致するので、規模別頻度分布の研究に、受信波列の最大振幅を用いても良いと判断した。

$$e = k a^{\nu} \quad (1)$$

$$e = r a^{v'} \quad (2)$$

ただし, e : エネルギー, A : 最大振幅, γ , k : 定数: $\nu \div 2$: ν : $1 \sim 2$

AEの規模別頻度分布に対しては、地震学の経験式である(3)式がほぼ成立する⁶⁾。

$$n(a)da = k a^{-m} da \quad (3)$$

ただし, n : AE の最大振幅が $a \sim a+da$ の間にある AE の総数, a : 最大振幅,
 m, n : 定数.

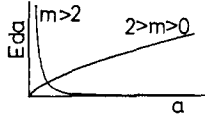


Fig. 2a

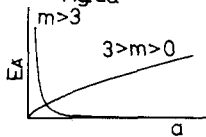


Fig. 2 b

(1), (3) 式より最大振幅が $a \sim a+da$ の間にある n 個の AE のエネルギーの総和 $E da$ は (4) 式で表わされ, また, 最大振幅が a より大きい AE の総和 E_A は (5) 式で表わされる。

$$E da = k r a^{j-m} da \quad (4)$$

$$E_A = k \Gamma(\nu - m + 1)^{-1} \{a^{\nu - m + 1}\}_a^\infty \quad (5)$$

金子ら⁵⁾の結果より、 $\nu=2$ を代入し、 m をパラメータとして(4)、(5)式の関係を図示したものがFig. 2-a, bである。測定結果⁶⁾より(3)式が成立する場合の m 値は、0~3の範囲を取りうるので、Eda及びEAが有限値を取るためには、AEの規模別頻度分布はFig. 2-cに示すような屈曲点を持つ事が必要である。実際のデータでは、大塚ら⁷⁾が述べたような、明確な屈曲点の存在しない、連続な曲線と見る事も可能である。花崗岩の一軸圧縮試験の際に得られたAEの規模別頻度分布の例をFig. 3に示す。縦軸は $N=\int_a^\infty n da$ であり、屈曲点はFig. 2と比べて判別しにくい曲線となっている。 $n da$ がFig. 2-cで示されたような不連続な直線と成り立っているのが、あるいは連続な曲線であるのかは、 $N=\int_a^\infty n da$ はいずれの場合も連続な曲線となるのでこの図からは決

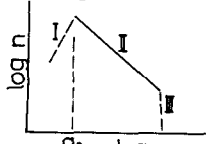


Fig. 2c

定し難い。また歪曲点は、積分する事により移動するが、今回はFig.3で示した測定結果を2本の直線に近似し、Fig.2-Cで示した $\Delta\sigma$ を求め、AEを計数する threshold level を設定した。

Ⅲ ダイラタンシーとAE

円柱形の安山岩質角礫凝灰岩及び円柱状の和泉砂岩の試料表面に接着した2方向型抵抗線歪ゲージによって測定された縦歪(1), 横歪(T), 及びこれらによって計算された体積歪(V)と平均応力に対してプロットした例をFig.4-a, bに示す。破線は、測定値より計算された弾性的体積歪(Velast.)の変化を示している。Fig.5は体積増分量(Velast-V)と平均応力との関係、及びAEの発生数と平均応力との関係を併せて示したものである。

ここで、平均応力 σ の時、microfractureの破壊域体積 V とエネルギー E との間には(6)式が成立する。

$$V = K e f(\sigma) \quad (6)$$

(1)式と(6)式より

$$V = K' a^2 f(\sigma) \quad (7)$$

ただし、 V :破壊域体積、 E :エネルギー、 K :定数、 $f(\sigma)$: σ の関数、例えば σ^{-2} である。

最大振幅が $a \sim a + da$ の間にある n 個のAEの発生源、(microfracture)の破壊域体積の総和(V')は(8)式で表わされる。

$$V' da = K' f(\sigma) a^{n-1} da \quad (8)$$

体積増分量 ΔV は V' に比例すると仮定すると、(7), (8)式より、Fig.2-Cで示した領域Iでの体積増分量は領域Iにおけるそれと比較して小さいと考えられるので、 $\Delta\sigma$ を越える最大振幅を持つAEのみが体積増分(dilatancy)と密接に関係するとして、Fig.5に $\Delta\sigma$ を越えるAEの発生数と平均応力に対してプロットした。ダイラタンシー量とAEの発生数は一致しないとある報告もあるが²⁾、Fig.5に示した結果では、最大応力の約90%までは極めてよく一致している。この領域で発生したmicrofracture(AE)の1個当りの体積増分量 ΔV を一定とすれば、 ΔV は $10^{-7} \sim 10^{-6}$ となり、金子ら^{2), 4)}の解析例とよく一致する。

Ⅳ おわりに

一軸圧縮試験の際に、見られるdilatancy現象は、岩石の内部で発生するmicrofractureに起因すると考えられているAEと、適切に threshold level を設定すればよく一致する。最大振幅が、受信出力で、100 μ Vを越えるAEの平均体積増分は $10^{-7} \sim 10^{-6}$ であろう。

参考文献

- 1) Mogi: Bull. Earthquake Res. Inst. 41, pp. 615~618, 1963
- 2) Scholz: J. Geophys. Res. 73, pp. 1417~1432, 1968
- 3) 柳谷 等: 第9回土木学会岩盤に關するシンポジウム講演要録, 1975
- 4) 金子 等: 51年度鉱業会春季大会講演要録集
- 5) 金子 等: 51年度土木学会秋季大会(7号) III-255
- 6) 佐野 等: 50年度鉱業会春季大会講演要録集
- 7) 大塚 等: 例えと地盤, 2, 24, pp. 215~227, 1971
- 8) Scholz: Bull. Seismol. Soc. Am., 58, pp. 339~415, 1968
- 9) 松本: 東京大学博士論文, 1975

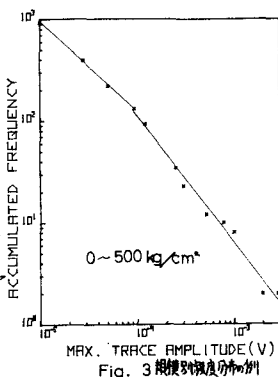


Fig. 3 振動計振度分布例

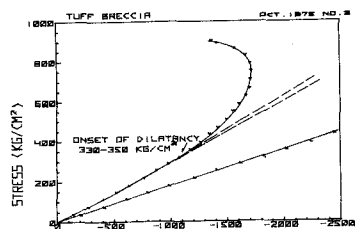


Fig. 4-a: 体積歪曲線

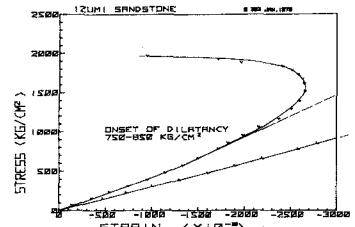


Fig. 4-b: 体積歪曲線

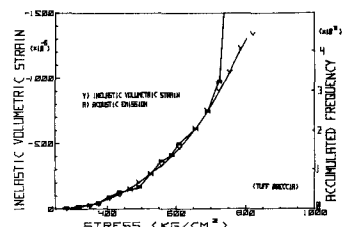


Fig. 5-a: AEとダイラタンシーの関係

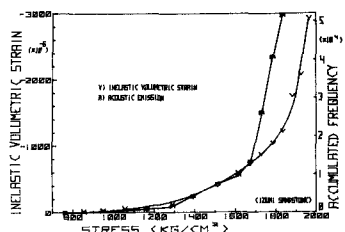


Fig. 5-b: AEとダイラタンシーの関係