

(株)奥村組 技術研究所 正員 篠原 茂
 同上 小林 義美
 同上 芳賀 憲三

1. まえがき

岩石が破壊をす際、衝撃音(可聴域の振動)が発生することは周知であるが、それ以前においても微視的な変形および破壊の結果、内部から微小な振動が発生する。これらの現象は一般にAcoustic Emissionと呼ばれている(以後、AEと称す)。このAEを検出することにより、トンネルや地下発電所などの地下掘削工事における落盤や崩壊を事前に予知できる可能性がある。このため筆者らは、室内および原位置で岩石AEの観測を行った。ここでは、一軸剛性圧縮試験下における岩石AEの特性についてその概要を報告する。

2. 観測方法

試験には容量200tの油圧試験機を使用し、巨視的破壊の前後にわたる応カーヒズミ関係を得るため、加圧板間に金属棒をそう入し、試料と金属棒とを同時に加圧する一軸剛性圧縮試験を行った。試料は奥吉野地下発電所工事現場で採取した中生代の頁岩で、整形後一週間デシケータ内で気乾して試験を行った。試料の物性および寸法を表-1に示す。

AEの観測のブロック・ダイアグラムを図-1に示す。すなわち、4個のピックアップからのAE出力をデータ・レコーダに記録し、分析はリング・ダウン計数方式のユニバーサル・カウンタによるAE発生回数の計数、24バンドCRT表示方式の周波数分析器による周波数分析を行った。

表-1 試料の物性および寸法

	No.11	No.14	No.18
寸法			
長さ cm	4.988	4.978	4.978
断面積 cm ²	8.998	8.989	19.28
軟化強度 kgf/cm ² s	0.703	0.971	0.842
単位体積重量 gf/cm ³	2.871	2.854	2.871
P破壊速度 km/s	5.19	5.18	4.29
S破壊速度 km/s	3.07	2.84	2.89
動ポアソン比	0.23	0.28	0.21
二軸圧縮強度 kgf/cm ²	5.82	8.20	3.23
ヤング率 10 ⁸ kgf/cm ²	18.3	13.1	9.40

1 kgf/cm² = 98.1 kPa

3. 観測結果および考察

AEの特性を表わす基本的なパラメータには

- i. 発生率および発生総数
- ii. 波形および周波数スペクトル
- iii. 振幅分布およびエネルギー
- iv. 信号到達順序および到達時間差

などがあるが、ここでは、これらパラメータの一部を報告する。なお、考察を進めるにあたり応カーヒズミ曲線を便宜上次の5ステージに分類した(図-2参照)。すなわち、

- ステージI: 試験開始直後の下に凸な区間
- ステージII: 弾性的なほぼ直線に近い区間
- ステージIII: 非弾性的挙動が顕著で、破壊に至るまでの上に凸な区間
- ステージIV: 破壊後の応カーヒズミ曲線の負の傾きが比較的急な区間
- ステージV: ステージIVに続く負の傾きが比較的緩やかな区間

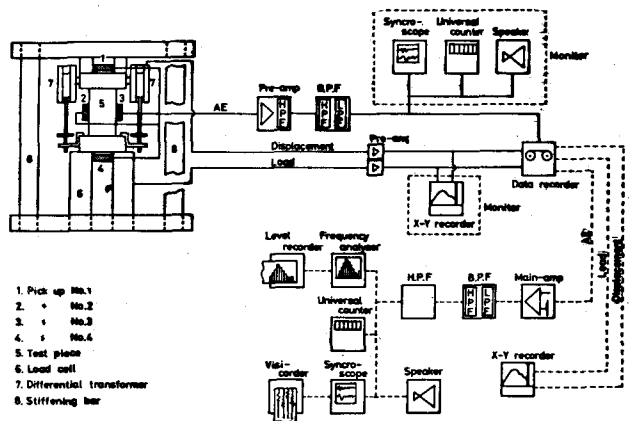


図-1 AE観測のブロック・ダイアグラム

である。ここで、破壊とは巨視的なスケールの破壊を意味しており、微視的破壊と区別して用いることとする。

(1) 発生率および発生総数

AE発生率と応力ひずみ曲線の一例を図-2に示す。応力ひずみ曲線は破壊時の応力 σ およびひずみ ϵ_f で無次元表示し、発生率は30秒ごとに求め、対数目盛で表示した。これによると、ステージIIで発生率が高くなっているが、これは弾性的とみられるこのステージですでに微視的破壊が起きていることを示している。ステージIIIおよびステージIVの前半で発生率は最大となるが、このあたりで大きな裂が発生していると考えられる。

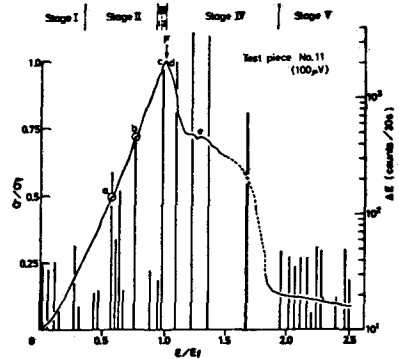


図-2 AE発生率と応力ひずみ曲線

破壊までに検出したAE総数と応力の関係を図-3に示す。AE総数は破壊までの総数 N_f で無次元表示した。また、同図には応力ひずみ曲線より求めたダイラタンシ開始応力の範囲を矢印で示した。この図から、AE総数は破壊応力の40~50%あたりから急増し始めていることがわかる。これはダイラタンシ開始時期とほぼ一致する。AE総数は、活動期と休止期を繰り返しながら、破壊に近づくにつれて指数関数的に増加している。

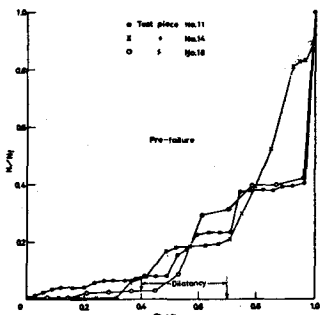


図-3 AE発生総数と応力の関係

(2) 波形および周波数

写真-1はいずれも試料中心付近に発生したAEの波形で、記号a~eは図-2の応力ひずみ曲線上の各位置に対処している。これによると、破壊に近づくると波形はバースト状の短い波形から長い波形へと変化している。図-4は各ステージでのAEの周波数分析である。これによると、応力の増加(ステージII→ステージIII-1)に伴い卓越周波数が高くなり、破壊の直前(ステージIII-2)にはステージIII-1に比べ低い周波数成分が卓越する傾向がみられる。

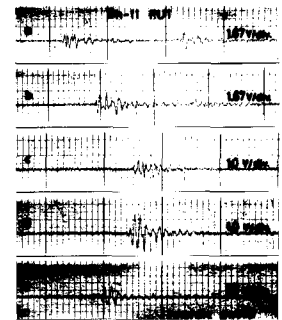


写真-1 AEの波形変化

(3) 振幅分布

一つのAEの最大振幅を Q 、最大振幅が Q と $Q+da$ の間にあるAEの数を $N(Q)da$ とすると、最大振幅 Q とAE発生数 $N(Q)da$ との間に次の関係が成立する。

$$N(Q)da = N_0 \cdot a^m \cdot da \quad (m, N_0: \text{定数})$$

破壊の進行に伴う m の値の変化を図-5に示す。図-4 AEの周波数スペクトル。これによると、破壊に近づくると m の値は小さくなり、破壊後には徐々に回復する(大きくなる)傾向がみられる。

4. あとがき

AEの各パラメータは相互に関連しながら破壊の進行とともに変化し、試料の巨視的破壊のみならず微視的破壊現象をも反映しており、変形、破壊過程の時々刻々の情報を内蔵している。したがって、AEを観察することで、巨視的な破壊の予知や、岩石が現在、変形、破壊過程のどこに位置しているかを推定し得ると考える。今回の報告は1種類の試料についてしかできなかったが、今後、各種の試料について測定を継続して行きたい。

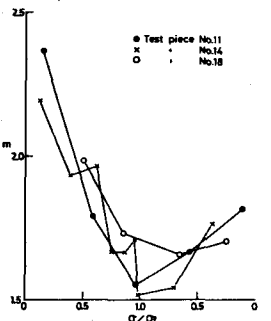
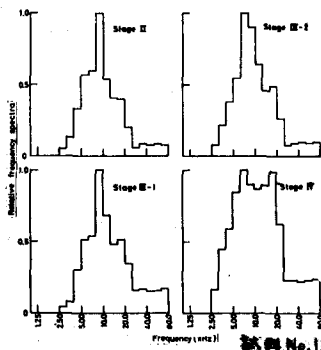


図-5 mと応力の関係