

徳島大学工学部 正 員 藤 井 清 司
徳島大学大学院 学生員の中 川 喜 仁

まえがき アコースティック・エミッション(AE)は、物体の変形・破壊過程においてひずみエネルギーの解放にともなって放出される応力波である。したがってアコースティック・エミッションには多くの物体の変形・破壊に関する情報が含まれており、その有用性は認められているが計測系の絶対化等に関係があり定量的評価は困難である。そこで今回は、破壊力学方面であつかわれているK値、き裂開口変位とAE総数、B値との関連性を調べ、不安定破壊の発生の開始点について検討を行う、たのでえららについて報告する。

実験概要 供試体は、高さ18cm、幅12cm、厚さ4cmの長方形板で、中央に載荷軸方向と同一方向に長さ3cmの先端の尖った切り欠きを入れる。使用材料は、セメントモルタルを用い、重量配合比(水:セメント:砂=1:2:6)で7日間湿潤養生を行う。実験は、変位制御で0.1mm/分の載荷速度で一軸圧縮載荷試験を行い、図-1に示すように上下対称に切り欠き先端部、2cm、4cmの位置に抵抗線ひずみゲージ、クラックゲージをはりつけ、き裂進展状況を観察する。AE測定は、図-2に示されている計測系を用い変換子は、供試体中央にゲリスを介して取り付け周波数データを取るときは共振周波数1MHzのものを、それ以外の測定では、140kHzのを使用する。これは、周波数解析の場合、変換子の特性として計測している周波数帯域では、平坦な特性が要求されるためであり、他の測定では、小さいAEも検出するために140kHzの共振周波数の変換子を使用する。計測系全体の増幅は60dB、ディスプレイレベルは70V、周波数帯域は20kHz~300kHzに設定する。周波数データは、Nyquist周波数を500kHzに設定しサンプリング間隔は1μsecで1024個のデータを取得し、高速フーリエ変換を行いパワースペクトルを求める。検出されたAE波の1例は図-2に示してあるが、応力レベルでは突発型と連続型の重畳した波があらわれ、高い応力レベルになると突発型の波があらわれている。一般に、これらの波について連続型は微視的破壊などによって生じているもので、応力レベルから塑性変形時にあらわれるものと考えられる。突発型は、微小割れやき裂の発生によって生じるもので、塑性変形時から破壊に至るまでの間にあらわれる。したがって本研究で応力レベルでは、き裂の発生のような巨視的な破壊ではなく、微視的破壊(微内破壊、粒界破壊等)が生じていると思われるが、突発型と連続型が重畳していることは岩質材料の破壊機構の複雑さをあらわしていると思われる。AE測定項目は、AE総数、B値について行い供試体の樹料定数は、表-1に示すとおりである。

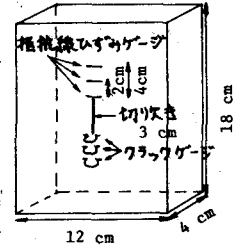


図-1 供試体

図-2に示されている計測系を用い変換子は、供試体中央にゲリスを介して取り付け周波数データを取るときは共振周波数1MHzのものを、それ以外の測定では、140kHzのを使用する。これは、周波数解析の場合、変換子の特性として計測している周波数帯域では、平坦な特性が要求されるためであり、他の測定では、小さいAEも検出するために140kHzの共振周波数の変換子を使用する。計測系全体の増幅は60dB、ディスプレイレベルは70V、周波数帯域は20kHz~300kHzに設定する。周波数データは、Nyquist周波数を500kHzに設定しサンプリング間隔は1μsecで1024個のデータを取得し、高速フーリエ変換を行いパワースペクトルを求める。検出されたAE波の1例は図-2に示してあるが、応力レベルでは突発型と連続型の重畳した波があらわれ、高い応力レベルになると突発型の波があらわれている。一般に、これらの波について連続型は微視的破壊などによって生じているもので、応力レベルから塑性変形時にあらわれるものと考えられる。突発型は、微小割れやき裂の発生によって生じるもので、塑性変形時から破壊に至るまでの間にあらわれる。したがって本研究で応力レベルでは、き裂の発生のような巨視的な破壊ではなく、微視的破壊(微内破壊、粒界破壊等)が生じていると思われるが、突発型と連続型が重畳していることは岩質材料の破壊機構の複雑さをあらわしていると思われる。AE測定項目は、AE総数、B値について行い供試体の樹料定数は、表-1に示すとおりである。

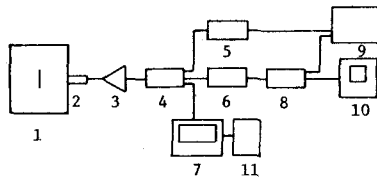


表-1 材料定数

ヤング率 (kgf/cm ²)	2.0x10 ⁵
ポアソン比	0.19
一軸強度 (kgf/cm ²)	246.27
引張強度 (kgf/cm ²)	26.48

結果と考察 図-3に、実験より得られた代表的なAE総数(N)と応力の関係を示してある。

ここで、横軸、縦軸ともに最大値で除して無次元量であらわしてある。グラフの傾きは、大きく分けて3種類に分けられる。そこで、最初の部分をステージ1、2番目をステージ2、最後をステージ3とする。N=N/N_{max}、σ=σ/σ_{max}とくとステージ1とステージ2の境界は、σが0.2前後、ステージ2とステージ3の境界はσが0.9前後に見られる。各ステージごとのdN/dσを求めること

1. Specimen
2. Transducer
3. Preamplifier
4. Discriminator
5. Counter
6. Amplitude-Detector
7. Digital-Oscilloscope
8. Distribution-Analyser
9. X-Y Recorder
10. Screen
11. Floppy-Disk

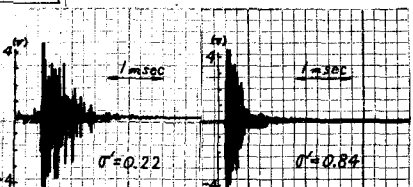


図-2 AE計測系と検出されたAE波

ージ1では、 $dN'/d\sigma' = 2.68$ 標準偏差0.78, ステージ2では、 $dN'/d\sigma' = 0.42$ 標準偏差0.13, ステージ3では、 $dN'/d\sigma' = 3.31$ 標準偏差1.02 となっている。ステージ1, ステージ3で標準偏差が大きいのは、初期では載荷装置等の背景雑音、最後の部分では岩質材料の複雑な破壊機構を反映していると思われる。クラックゲージによるきれつ開口変位と応力の関係は、図-4に示してある。各オフセット0cm, 2cm, 4cmに対応したものであるが明らかな変曲点が存在すると思われるのはNo.1, No.2の2つであり、No.3では変曲点は σ' の大きい方へ移行していると思われるが明確にあらわれていない。きれつ開口変位曲線の変曲点の決定は、曲線中ほぼ勾配が一定とみなせる部分に対する2本の接線の交点として求める。その点に対応する σ' の値は、No.1では0.85 標準偏差0.041, No.2では0.85 標準偏差0.015, No.3では0.91 標準偏差0.015 となっている。きれつ開口変位曲線の増加率の変化のきざしは、 $\sigma' = 0.5$ 付近から見られ、2接線の交点より求めた値はステージ2と3の境界の σ' とはば一致している。これは、クラックゲージが供試体表面に取り付けているため供試体表面ひずみの影響が出ているためAE総数のステージ2と3の境界よりも但応力側で接線とはなれていくと思われる。オフセット間隔ごとのクラックゲージと抵抗線ひずみゲージの変曲点に対応する σ' は表-2に示してある。オフセット間隔0cmの切り欠き先端では、抵抗線ひずみゲージの感度が敏感なため但 σ' の値で変曲点をむかえている。オフセ

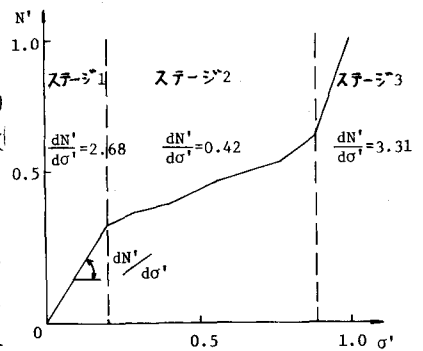


図-3 AE総数と応力

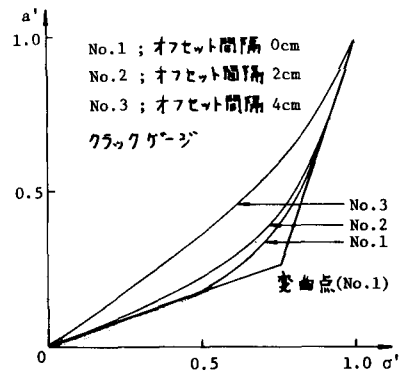


図-4 きれつ開口変位と応力

表-2 クラックゲージと抵抗線ひずみゲージの σ'

オフセット間隔 (cm)	クラックゲージ			抵抗線ひずみゲージ		
	0	2	4	0	2	4
平均値 σ'	0.85	0.85	0.91	0.45	0.88	0.95
標準偏差	0.041	0.015	0.015	0.098	0.11	0.021

ット間隔が2cm, 4cmにおいてクラックゲージの σ' と抵抗線ひずみゲージの σ' が似かよっているのは、この付近の σ' のときにきれつが進展するものと思われる。きれつ進展の条件は、きれつ進展力 q が限界きれつ進展力 G_c になるとききれつが進展する。この条件を応力拡大係数 K 値で定義すると $K=K_c$ がきれつ進展の条件となる。破壊力学では破壊様式を開口引張型、面内せん断型、面外せん断型の3種類に分類しているが本研究で用いた供試体の破壊様式は開口引張型と考えられる。それで、応力拡大係数 K 値の算定には開口型のIrwinの式を用いる。その結果、 $K_c = 57.48 \text{ (Kgf/cm}^{3/2}\text{)}$, $G_c = 0.016 \text{ (Kgf/cm}^2\text{)}$ となる。 K 値は負荷応力に比例して増大していくが本研究での増加率 $dN'/d\sigma' (K'=K/K_c)$ は0.082となり、ステージ1での $dN'/d\sigma'$ の値2.61, ステージ3での値3.31より $dN'/d\sigma' \propto \beta dK'/d\sigma'$ すなわち $dN' \propto \beta dK'$ の関係があると思われる。ステージ2で $dN'/d\sigma'$ が低いのは、微視的破壊が発生しているためと思われ、またステージ1で $dN'/d\sigma'$ が大きいのは、前述の背景雑音によるものと思われるため、きれつが進展するステージ3での $dN' \propto \beta dK'$ の関係を考えるべきであろう。また、B値と周波数解析結果については毎日発表する。

まとめ 不安定破壊開始点は、クラックゲージ、抵抗線ひずみゲージ、AE総数によると最大負荷応力の90%前後となっており、これより後できれつがいっさに進展するものと考えられる。また、 K 値の算定にはIrwinの弾性きれつに対するものを適用したためステージ3すなわちきれつが進展する部分での比例関係があると考えられる。 K 値、 q 値とも具体的な値は求めたが、供試体寸法、切り欠き長さ等の幾何学的条件を変えた供試体を用いて比較を行っていないので今後、この点について検討をする必要があると思われる。

参考文献 A.S. TETELMAN, A.J. McEVILY, Jr. 構造物の強度と破壊 / 培風館 1970