

東北大学 学生員 ○山内 正司
東北大学 正員 佐武 正雄
東北大学 正員 新聞 茂

1. はじめ

岩石、コンクリートのような脆性材料には、通常、多くの内部欠陥が存在している。その準静的な場合における破壊は、微視的內部欠陥の成長、合流などの逐次破壊過程によるものと考えられ、金属などの延性材料の塑性流動による破壊とは、形式を異にしている。又、材料の破壊時にAEが発生することはよく知られており、近年、AEは、構造物の非破壊検査法や、材料の力学特性の研究に応用されるようになってきた。その研究対象は主として、金属材料が多く、脆性材料を対象としたものは少ないように思われる。本文は、石膏、モルタル、岩石などの、一軸圧縮試験時に生じるAEの計測と、有限要素法によるき裂の進展過程の解析を行い、脆性材料の逐次破壊過程も考察したものである。

2. 実験方法

実験に使用したAE装置（NF回路設計ブロッツK.K.製）のブロックダイアグラムを図-1に、AE装置の各設定値も表-1に示す。又、供試体の概要は表-2の通りである。載荷方法は荷重制御方式（1t/min）を用い、AEカウントは、リングダウン計数法を採用した。石膏、モルタルについては、端面拘束を少なくするために、供試体の上下面にそれぞれ1mm厚のゴム板を3枚重ね、岩石については、端面より生じるAEを防ぐために端面にアラルダイトでハンチをつけ固定した。⁽¹⁾

3. 有限要素法によるき裂進展の解析

解析方法及び、計算上の設定を略述する。⁽²⁾

(i). き裂は準静的に進展するものとし、破壊規準として、Griffithにより修正された、

Mohrの破壊包絡線を用いる。(図-2)

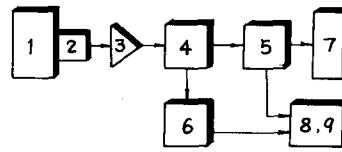
$$\tau^2 = 4\sigma_t(\sigma_t - \sigma) \quad (1)$$

ここに、 σ_t は一軸引張強度である。

(ii). 解析には、三角形一定歪要素を用い、引張き裂は、エネルギー解放率が最大となる方向（最大引張主応力方向と垂直な方向）⁽³⁾に進展するものとし、その方向に節点がない場合は、き裂先端近傍の領域を再分割する。また、引張き裂は要素集合の境界で表わすものとする。

(iii). せん断破壊後の要素の構成式に関しては、その要素の節点力は、破壊時の節点力として保持し続けるものとした。

(iv). 数値計算に使用した材料定数は次の通りである。一軸引張強度、 $\sigma_t = -70 \text{ kg/cm}^2$ 、ヤング率 $E = 1.0 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 、ポアソン比 $\nu = 0.15$



1. 供試体
2. AEセンサー
3. プリアンプ
4. ディスクリミネータ
5. トランジェントメモリー
6. テュアルカウンタ
7. シンクロスコープ
8. データレコーダ
9. Y-Tレコーダ

表-1. 設定値

センサー共振周波数	140 kHz
周波数領域	0.1~1.0 MHz
利得	80 dB
ディスクリハイレベル	150 mV
ディスクリローレベル	50 mV

図-1 AE装置ブロックダイアグラム

表-2 供試体の概要

	石 膏	モルタル	岩 石
寸 法	5.0×15.0×15.0 ^{cm}	6.0×6.5×12.0 ^{cm}	φ5.0×15.0 ^{cm}
配合比、材質	水:石膏比=60%	水:セメント比=55%	凝灰岩
スリット長	2.0, 6.0 ^{cm}	—	—
スリット角度	0°, 30°, 45°, 60°	—	—
形 状			

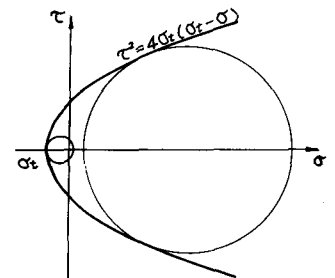


図-2 Mohrの破壊包絡線

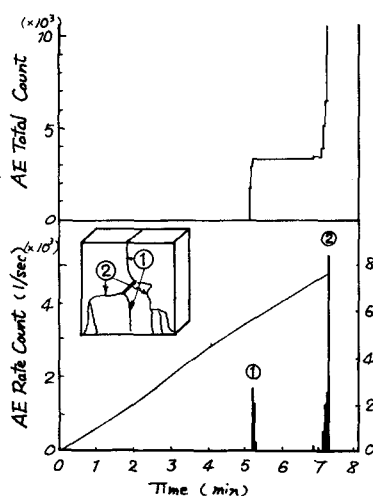


図-3 石膏のAE測定結果

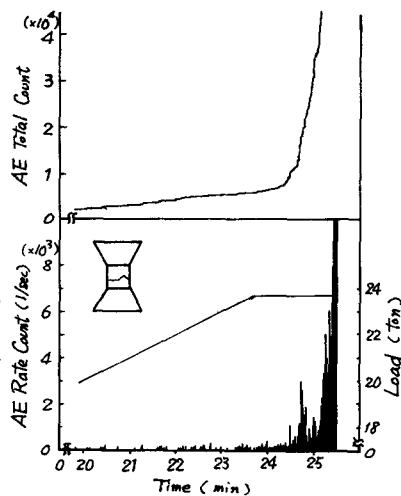


図-4 岩石のAE測定結果

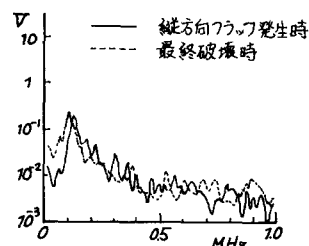


図-5 石膏のAE周波数特性

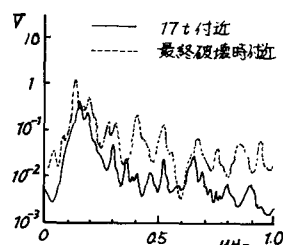


図-6 岩石のAE周波数特性

4. 実験及び数値解析結果と考察

図-3、図-5に、それぞれ、石膏のAE測定結果とそのAE波形の周波数特性を示す。斜めスリットの入った石膏では、スリット先端よりやや内側からスリットに垂直な方向に引張き裂が生じ、瞬時のうちに供試体端部まで伸びる。その後しばらくして、縦と横のき裂が発生し、最終強度に到っている。一方、数値解析では、初期き裂先端のやや内側より、引張力による分岐き裂が生じ、初期き裂の約 $\frac{1}{3}$ の長さに進展した頃より、初期き裂先端にせん断破壊領域が生じる。これ以降では、両者は同時に進展し、遂には供試体は図-7(b)に示すように、2つの部分に分離し、破壊形式は実験とよく一致している。図-7(a)は初期き裂先端近傍の破壊状況を示したものである。AEの発生状況は、この破壊過程に対応したものとされており、周波数特性については、最終破壊時における高周波数成分がやや卓越しているように思われる。

同様に、図-4、図-6は岩石（凝灰岩）について示したものである。AE発生は載荷初期から見られ、破壊強度の90%

付近まで単発的に発生し、その後の発生頻度に著しい増加が認められた。また、周波数特性については、最終破壊時の高周波数成分が顕著に卓越していることがわかる。AEトータルカウント曲線は、最終強度の90~95%付近で勾配が急変しており、AE発生特性から終局的破壊の予知も可能になると思われる。

5. あとがき

脆性材料の逐次破壊時に生じるAEの、2,3の特性について述べ、数値計算による解析結果と比較し、考察を行なった。数値計算による逐次破壊過程は、実験結果とほぼ一致している。終局強度と実験結果と一致させるためには、数値計算方法を更に精密化する必要がある。現在、最終強度のシミュレーションを、エネルギー解放率と破壊規準のパラメータとして、特異要素と自動分割手法を用いて、より精密に行なっている。この結果は当日、発表の予定である。数値計算については、御協力いただいた宇佐美司氏（現、ハナ代エンジニアリング）に感謝する。

参考文献

- 1) Hagi, K., Felsmech. Ingenieurges., 4 (1), 41, 1966.
- 2) 初岡、佐武、小島、土木学会第32回年次学術講演会講演概要集、1, pp.666-667.
- 3) R. J. Nuismer, Int. J. of Fracture, Vol. 11, No.2, April, 1975.

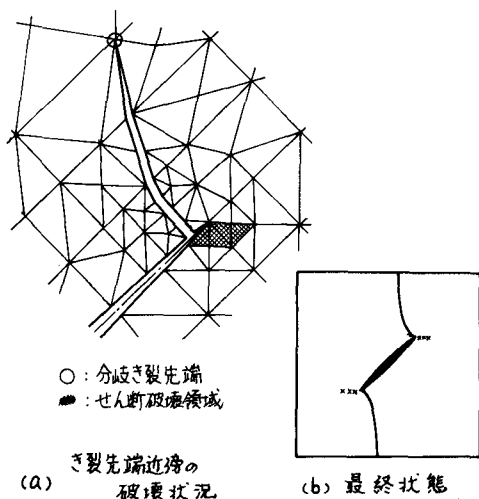


図-7